



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
Ingeniería civil – Construcción

Bloques de mampostería elaborados con residuos de la construcción y requerimientos normativos para mampostería de la CDMX

**TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA**

**PRESENTA:
Juan Carlos Maldonado Martínez**

**TUTORA PRINCIPAL:
Dra. María Neftalí Rojas Valencia, Instituto de Ingeniería, UNAM**

**COMITÉ TUTOR:
M. I. José Álvaro Pérez Gómez, Facultad de Ingeniería, UNAM
Ing. Guillermo Casar Marcos, Facultad de Ingeniería, UNAM**

CD. MX. NOVIEMBRE 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M. I. Mendoza Rosas Marco Tulio

Secretario: M. I. Mendoza Escobedo Carlos Javier

1era. Vocal: Dra. Rojas Valencia María Neftalí

2 do. Vocal: Ing. Casar Marcos Guillermo

3 era. Vocal: M. I. Pérez Gómez José Álvaro

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

- Laboratorio del edificio 5 y 8 del Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Laboratorios de Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Bloquera artesanal Casa de materiales Alva San Juan Teotihuacán.
- Laboratorios de bloques de concreto Industrial Bloquera Mexicana S.A. de C.V.
- Laboratorio de morteros de Industrial Bloquera Mexicana S.A. de C.V.

TUTORA DE TESIS:

Dra. María Neftalí Rojas Valencia



FIRMA

Agradecimientos

Este trabajo es la culminación de todo aquello por lo que he luchado en la vida, algo que comenzó como un sueño que poco a poco ha ido tomando forma y que por fin se está materializando, mismo que representa el apoyo y esfuerzo en conjunto de mis familiares, amigos y profesores que siempre me acompañaron y alentaron durante este largo camino, con quienes estoy infinitamente agradecido y que un simple agradecimiento no basta.

Índice

CAPÍTULO 1 Marco teórico.....	1
1.1 Los residuos de construcción.....	1
1.2 Características LEED en residuos de la construcción	5
1.2.1 Materiales y recursos.....	7
1.2.2 Gestión de residuos de construcción.....	8
1.2.3 Materiales de la región.....	9
1.2.4 Materiales rápidamente renovables.....	9
1.3 Norma mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 Edificación sustentable, criterios y requerimientos ambientales mínimos.....	10
1.3.1 Disposición final prevista.....	11
1.4 La edificación sustentable	11
1.5 Mampostería.....	12
1.5.1 Tipos de piezas de mampostería	13
1.5.2 Clasificación de las estructuras de mampostería.....	14
1.6 Piezas de mampostería con residuos de la construcción	15
1.7 Componentes de una mezcla para elaboración de bloques.....	16
1.7.1 Clasificación, características y tipos de agregados	16
1.7.2 Tipos de cemento y sus características.....	19
CAPÍTULO 2 Metodología.....	21
2.1 Elaboración del bloque de mampostería.....	21
2.2 Características geométricas y físicas de los bloques.....	21
2.3 Pruebas a los agregados.....	22
2.3.1 Prueba de granulometría para agregados finos y gruesos.....	22
2.3.2 Procedimiento.....	25
2.4 Dosificación de las mezclas para la elaboración del bloque.....	27
2.4.1 Diseño de mezcla 1, resistencia 100 kg/cm ²	27
2.4.2 Diseño de mezcla 2 resistencia 150 kg/cm ²	28
2.4.3 Diseño de mezcla 3, resistencia 210 kg/cm ²	28
2.5 Normatividad y reglamentación aplicada a bloques de mampostería.....	29

2.6	Elaboración de especímenes artesanales hechos con residuos de la construcción	30
2.7	Elaboración de especímenes de manera mecanizada hechos con residuos de construcción.	32
2.8	Ensaye en laboratorio de especímenes para la elaboración de pilas muretes y modelos de ensaye. Resistencia a la compresión NMX-036-ONNCCE.	34
2.9	Prueba de resistencia a compresión en los bloques.	35
2.10	Absorción inicial del bloque.	39
2.11	Absorción total del bloque en 24 horas	41
2.12	Mortero utilizado en la elaboración de las muestras y modelos de ensaye	43
2.12.1	Mortero	44
2.12.2	Resistencia a la compresión de las muestras de mortero.	46
2.12.3	Fluidez inicial del mortero para pega con RDC y MB.	49
2.12.4	Fluidez de succión del mortero para pega con RDC y MB.	51
2.12.5	Granulometría del mortero para pega con RDC y MB.	55
2.13	Elaboración de pilas y muretes	58
2.13.1	Elaboración y ensaye de pilas NMX-464-ONNCCE	58
2.13.2	Elaboración y ensaye de muretes NMX-464-ONNCCE	62
CAPÍTULO 3 Resultados de la primera etapa experimental.....		67
3.1	Análisis granulométrico de los agregados para la fabricación de los bloques.	67
3.2	Mezcla 1 resistencia a compresión estimada 100 kg/cm ² por pieza.	71
3.3	Mezcla 1- 100 kg/cm ² absorción inicial	74
3.4	Mezcla 1- 100 kg/cm ² absorción total en 24 horas.	76
CAPÍTULO 4 Resultados de la segunda etapa experimental.....		79
4.1	Mezclas de la segunda etapa	79
4.2	Mezcla 4 resistencia estimada 150 kg/cm ² , 50% RDC-50% AB.	82
4.3	Mezcla 4 50% RDC-50% AB del total de la mezcla por pieza absorción inicial.	85
4.4	Mezcla 4 50% RDC-50% AB del total de la mezcla por pieza, absorción total.	87
4.5	Granulometría del mortero para pega con RDC y MB.	89
4.6	Mortero utilizado en la elaboración de las muestras y modelos de ensaye	93
4.7	Cálculo de la resistencia a compresión de los cubos de mortero.	93
4.8	Fluidez inicial del mortero para pega con RDC y MB.	95
4.9	Fluidez de succión del mortero para pega con RDC y MB.	96

4.10 Rendimiento del mortero para pega con RDC y MB.	97
4.11 Cálculo de resistencia de pilas.....	97
4.12 Cálculo de resistencia de los muretes.....	100
4.13 Resultado del ensayo a compresión de bloques macizos de algunas tiendas comerciales y casas de materiales.....	102
CAPÍTULO 5 Factibilidad económica y competitividad en el mercado	103
5.1 F.S.R del personal operativo de la fabricación de los bloques con RDC y MB.....	103
5.2 Análisis, cálculo e integración de los costos horarios de la maquinaria y equipo para Fabricar bloques de concreto RDC y MB.....	108
5.3 Costo de transporte del block al primer km y los km subsecuentes.	111
5.4 Costo de los materiales para la elaboración del bloque mezcla 4 resistencia 150 kg/cm ²	114
5.5 Costo de fabricación del bloque	115
5.6 Competitividad y factibilidad de mercado de las mezclas	118
CAPÍTULO 6 Conclusión	119
Referencias	121

Índice de tablas

Tabla 1. Estimación de volumen de residuo de construcción generado.....	3
Tabla 2. Dimensiones de los bloques.....	22
Tabla 3. Para el caso de los bloques TMA 3/8”	25
Tabla 4. Dosificación de materiales mezcla 1.....	27
Tabla 5. Dosificación de materiales mezcla 2.....	28
Tabla 6. Dosificación de materiales mezcla 3.....	29
Tabla 7. Tipos de materiales y resistencia a compresión	35
Tabla 8. Valores máximos de absorción inicial	41
Tabla 9. Dosificación para morteros	45
Tabla 10. Revenimiento para morteros en relación a la absorción del bloque, Tolerancia +-30 mm....	46
Tabla 11. Resistencia compresión de los tipos de mortero	46
Tabla 12. Frecuencia de muestreo del mortero elaborado en obra.	47
Tabla 13. granulometría recomendada.....	55
Tabla 14. Relaciones de altura a espesor	60
Tabla 15. Interpolación lineal.	61
Tabla 16. Resistencia a la compresión de la mampostería de piezas de concreto	62
Tabla 17. Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería	66
Tabla 18. Análisis granulométrico de la grava de banco	67
Tabla 19. Análisis Granulométrico de la grava RDC	68
Tabla 20. Análisis granulométrico de la arena para poder determinar su módulo de finura.	69
Tabla 21. Análisis granulométrico de la arena de banco, tamizado.....	70
Tabla 22. Descripción de los bloques ensayados, mezcla 1, (medidas y carga última).....	71
Tabla 23. Cálculo de resistencia a compresión por pieza y de resistencia promedio de la mezcla 1.....	72
Tabla 24. Cálculo de la resistencia a compresión de la pieza, mezcla 1.....	72
Tabla 25. Resultado de las pruebas a compresión de las 3 mezclas con residuo de construcción.....	73
Tabla 26. Descripción del bloque y registro de pesos seco y húmedo de cada espécimen.....	74
Tabla 27. Cálculo de la absorción inicial máxima en 10 minutos de cada bloque, mezcla 1	74
Tabla 28. Cálculo de la absorción promedio para determinación del % de absorción, mezcla 1.	75
Tabla 29. Resultados de absorción inicial de la primera etapa experimental	76

Tabla 30. Descripción del bloque, pesos seco y húmedo (S.S.S) de cada espécimen, mezcla 1.	76
Tabla 31. Cálculo de la absorción máxima en 24 horas de cada bloque, mezcla 1.	77
Tabla 32. Cálculo de la absorción promedio % de absorción, mezcla 1.	77
Tabla 33. Resultado de absorción total de la primera etapa experimental.	78
Tabla 34. Descripción de los bloques ensayados, mezcla 4, (medidas y carga última).	82
Tabla 35. Resistencia a compresión y resistencia promedio de la mezcla 4, 50% RDC-50% AB.	83
Tabla 36. Cálculo de la resistencia a compresión de la pieza, mezcla 4, 50% RDC-50% MB.	83
Tabla 37. Descripción del bloque y registro de pesos seco y húmedo de cada espécimen.	85
Tabla 38. Cálculo de la absorción inicial máxima en 10 minutos, mezcla 4.	85
Tabla 39. Cálculo de la absorción promedio % de absorción, mezcla 4.	86
Tabla 40. Descripción del bloque, pesos seco y húmedo (S.S.S) de cada espécimen, mezcla 4.	87
Tabla 41. Cálculo de la absorción máxima en 24 horas de la mezcla 4.	87
Tabla 42. Cálculo de la absorción promedio para determinación del % de absorción, mezcla 4.	88
Tabla 43. Mortero tipo 1, 100% RDC, tamizado.	89
Tabla 44. Mortero tipo 1, 50% RDC y 50% MB, tamizado.	90
Tabla 45. Mortero tipo 1, 30% RDC y 70% MB, tamizado.	91
Tabla 46. Descripción de los cubos de mortero, (medidas y carga última).	93
Tabla 47. Cálculo de resistencia a compresión de los cubos de mortero y resistencia promedio.	94
Tabla 48. Cálculo de la resistencia a compresión del mortero para fines de diseño de las 3 mezclas. ..	94
Tabla 49. Fluidez inicial del mortero.	95
Tabla 50. Fluidez de succión del mortero.	96
Tabla 51. Porcentaje de retención mínima requerida.	97
Tabla 52. Rendimiento por kilogramo y consumo de agua por kilogramo.	97
Tabla 53. Descripción de pila, (medidas y carga última).	98
Tabla 54. Interpolación lineal.	98
Tabla 55. Cálculo de resistencia a compresión de las pilas y obtención de resistencia promedio.	99
Tabla 56. Resistencia a compresión para diseño Mezcla 4 - 150 kg/cm ² con 50% RDC y 50% MB. ..	99
Tabla 57. Descripción del murete, (medidas y carga última).	100
Tabla 58. Cálculo de resistencia a compresión de los muretes y obtención de resistencia promedio.	101
Tabla 59. Resistencia a compresión diseño mezcla 4 - 150 kg/cm ² con 50% RDC y 50% MB.	101
Tabla 60. Prueba de resistencia a compresión de especímenes del mercado.	102

Tabla 61. Cálculo del Factor de Salario Real F.S.R.....	107
Tabla 62. Salario Real del personal en planta	108
Tabla 63. Costo horario de la máquina bloquera	109
Tabla 64. Costo horario de la revolvedora	110
Tabla 65. Costo horario del camión plataforma para el acarreo del block	111
Tabla 66. Análisis de precios unitarios para el acarreo del bloque	113
Tabla 67. Costo de materiales para fabricar un bloque Mezcla-4-150	114
Tabla 68. Análisis de precios unitarios para fabricar un bloque M-4-150 50%RDC-50%MB	115
Tabla 69. Análisis de precios unitarios para la fabricación de un bloque M-10-150.....	116
Tabla 70. Costo de cada una de las mezclas trabajadas	117

Índice de figuras

Figura 1. Pesado de la muestra de arena RDC.	22
Figura 2. Pesado de la muestra de arena MB.	22
Figura 3. Pesado de la muestra de grava 3/8" RDC.	23
Figura 4. Pesado de la muestra de gravilla 1/4" RDC.	23
Figura 5. Materiales para la prueba de granulometría.	23
Figura 6. Equipo de vibración mecánico.	24
Figura 7. Muestras de material en charolas después del secado en el horno.	24
Figura 8. Secado de las muestras en el horno durante un periodo de 24 horas.	25
Figura 9. Muestra de arena RDC tamizado.	26
Figura 10. Muestra de arena MB tamizado.	26
Figura 11. Muestra de grava 3/8" tamizado.	26
Figura 12. Muestra de Gravilla de 1/4" tamizado.	26
Figura 13. Porcentaje de agregados que componen la mezcla 1.	27
Figura 14. Porcentaje de agregados que componen la mezcla 2.	28
Figura 15. Porcentaje de agregados que componen la mezcla 3.	29
Figura 16. Molde artesanal de 12 cm ancho X 18 cm alto X 38 cm Largo.	30
Figura 17. Pesaje de agregados.	31
Figura 18. Pesaje de cemento.	31
Figura 19. Molde con desmoldante.	32
Figura 20. Llenado del molde en 4 capas de 5 cm.	32
Figura 21. Enrasado del material en el molde.	32
Figura 22. Elaboración de la mezcla para elaborar los bloques.	33
Figura 23. Máquina para la elaboración de los bloques.	33
Figura 24. Introducción de la mezcla en la maquina.	33
Figura 25. Elaboración del bloque de concreto.	33
Figura 26. Prueba a compresión del bloque de elaborado con RDC de la CDMX.	37
Figura 27. Pesaje, medida e identificación de la pieza a ensayar.	36
Figura 28. Confinado y cabeceo de la pieza.	36
Figura 29. Alineado de los bloques de acero.	36

Figura 30. Colocación y alineado del bloque en la maquina universal.	36
Figura 31. Aplicación y registro de la carga última.	38
Figura 32. Pesado del bloque seco.....	39
Figura 33. Colocación de los soportes en el recipiente.	39
Figura 34. Colocación del bloque 10 minutos en el agua.....	40
Figura 35. Secado.	40
Figura 36. Pesado del bloque húmedo.....	41
Figura 37. Pesado del bloque seco.....	42
Figura 38. Saturación de los bloques durante un periodo de 24 horas.	42
Figura 39. Secado del bloque con el paño absorbente.....	42
Figura 40. Obtención del peso húmedo.	42
Figura 41. Obtención de la masa del espécimen sumergido.....	43
Figura 42. Pesaje de arena RDC y AB de las 3 mezclas, 3 kg.	45
Figura 43. Pesaje del cemento 1 kg.	45
Figura 44. Pesaje de la cal 0.25 kg.	45
Figura 45. Elaboración de mezcla con proporción, cemento 1, cal $\frac{1}{4}$, arena 3.	48
Figura 46. Mezclado de los agregados que conforman el mortero.....	48
Figura 47. Llenado de moldes con el mortero.	48
Figura 48. Enrase de los moldes.....	48
Figura 49. Identificación y curado de especímenes.....	49
Figura 50. Aplicación y registro de la carga.....	49
Figura 51. Elaboración del mortero tipo I con proporción 3:1:1/4, de las 3 mezclas.....	50
Figura 52. Centrado del cono en la mesa y llenado.....	50
Figura 53. Enrase del molde.....	51
Figura 54. Retiro del molde.....	51
Figura 55. Aplicación de 25 golpes.	51
Figura 56. Medición del mortero después de la aplicación de los 25 golpes.	51
Figura 57. Colocación del disco y sello de papel en el embudo cubierto de grasa.	52
Figura 58. Colocación y compactado del mortero en el disco.....	52
Figura 59. Enrase del molde disco.....	52
Figura 60. Aplicación de la succión de vacío.....	52

Figura 61. Retiro del mortero después de la succión de vacío.	53
Figura 62. Colocación del mortero en el cono, enrase y aplicación de los 25 golpes.	53
Figura 63. Toma de las lecturas del mortero.	53
Figura 64. Pesaje de una muestra de 1 kg de mortero.	54
Figura 65. Mezclado del mortero con agua hasta lograr una trabajabilidad optima.	54
Figura 66. Llenado del vaso de precipitados con la mezcla del mortero.	54
Figura 67. Rendimiento y consumo de agua mortero de las 3 mezclas trabajadas.	54
Figura 68. Granulometría recomendada para la arena del mortero.	55
Figura 69. Pesaje de la muestra RDC y MB.	56
Figura 70. Secado de la muestra durante un periodo de 24 horas.	56
Figura 71. Tamizado del material.	57
Figura 72. Pesaje del material retenido por los tamices.	57
Figura 73. Colocación del espécimen en la maquina universal.	58
Figura 74. Elaboración de la pila con bloques.	59
Figura 75. Cabeceado de la pila.	59
Figura 76. Colocación y alineado de la pila en la maquina universal	60
Figura 77. Aplicación y registro de la carga ultima en la pila.	60
Figura 78. Elaboración del murete con bloques.	63
Figura 79. Cabeceado del murete.	63
Figura 80. Colocación y alineado del murete en la maquina universal.	64
Figura 81. Aplicación y registro de la carga última en el murete.	64
Figura 82. Colocación del murete en los cabezales para aplicar la carga.	65
Figura 83. Variables para el cálculo de la resistencia a compresión diagonal.	66
Figura 84. Curva granulométrica de la Grava de banco.	67
Figura 85. Gráfica de curva granulométrica de la Grava RDC.	68
Figura 86. Gráfica de curva granulométrica de la arena RDC.	69
Figura 87. Gráfica de curva granulométrica de la arena de banco.	70
Figura 88. Gráfica de resistencia f'_p de la primera etapa experimental.	72
Figura 89. Gráfica de resistencia f'_p de la primera etapa experimental.	73
Figura 90. Gráfica de absorción inicial de la primera etapa experimental.	75
Figura 91. Gráfica de absorción final de la primera etapa experimental.	78

Figura 92. Dosificación de agregados mezcla 4.	79
Figura 93. Dosificación de agregados mezcla 5.	80
Figura 94. Dosificación de agregados mezcla 6.	80
Figura 95. Dosificación de agregados mezcla 7.	81
Figura 96. Dosificación de agregados mezcla 8.	81
Figura 97. Dosificación de agregados mezcla 8.	82
Figura 98. Resistencia f_p de la segunda etapa experimental.	84
Figura 99. Resistencia $f'p$ de la segunda etapa experimental.	84
Figura 100. Absorción inicial (capilaridad) de la segunda etapa experimental.	86
Figura 101. Absorción total en 24 hrs de la segunda etapa experimental.	88
Figura 102. Gráfica de curva granulométrica de mortero tipo 1 100% RDC.	90
Figura 103. Gráfica de curva granulométrica de mortero tipo 1 50% RDC.	91
Figura 104. Curva granulométrica del mortero tipo 1 30% RDC.	92
Figura 105. Máquina bloquera con la que se fabricó el bloque de concreto.	108
Figura 106. Revolvedora.	110
Figura 107. Comparación del bloque ligero RDC y su factibilidad en el mercado.	118
Figura 108. Comparación del bloque pesado RDC y su factibilidad en el mercado.	118

Introducción

La industria de la construcción genera un alto índice de desperdicios diariamente que contaminan el medio ambiente, se contempla que en las obras de la Ciudad de México se producen diariamente 80 m³ en promedio y cada obra debería tener su propio plan de manejo de residuos especiales, con la finalidad de contribuir a la preservación del ambiente. Se estima que la cantidad de residuos de la construcción generados anualmente es de 6 millones de toneladas lo cual quiere decir que se producen diariamente un promedio de 17 mil toneladas de las cuales el material de excavación equivale a 39 %, concreto 25%, escombros 24% y otros residuos 12% (CMIC¹, 2017).

En contraste los residuos urbanos producidos en la Ciudad son de un total de 12, 327 toneladas diariamente. La Ciudad de México cuenta con una población de 8,851,080 habitantes que da como resultado una producción de 1.46 kg de basura por habitante (PGIRS² 2016-2020).

La industria de la construcción es un sector relevante para la economía y es muy importante para el desarrollo de infraestructura del país, sin embargo, es uno de los que más contamina; como profesionales de la ingeniería debemos buscar una solución a la problemática ambiental que genera el desarrollo de las obras, reutilizando los residuos de la construcción, e invirtiendo en nuevas tecnologías que nos ayuden a que los residuos recuperen gran parte de las propiedades físicas y mecánicas que exigen las normas para que los materiales puedan ser reutilizados en la creación de nuevas obras civiles.

Antecedentes

La empresa concretos reciclados ubicada en San Lorenzo Iztapalapa recibe gran parte de los residuos de construcción de la Ciudad de México e incentiva el reciclaje de los residuos de construcción y la construcción de obras con estos materiales.

Aquino (2015) en su trabajo del reúso de los residuos de construcción para elaborar ladrillos sustentables, con el uso de diversas mezclas de materiales (residuo de excavación, residuo de tala, residuo de construcción, mucílago de nopal como fluidizante) y agregados con diferentes proporciones en el contenido de la mezcla demostró que su trabajo fue muy importante ya que cumplió con las Normas Técnicas Complementarias del año 2004 en cuanto a absorción inicial, absorción máxima y resistencia a

¹ Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.

² U.S Green Building Council USGBC (Consejo de Construcción Ecológica de los Estados Unidos).

la compresión; Aunado a ello, en su investigación demostró que resultaba más económico producir uno de sus ladrillos que uno de los usados convencionalmente³.

Aguilar (2017) en su investigación sobre fabricación de bloques ecológicos a base de material producto de la construcción (residuo de relleno o agregados procesados, residuo de tala o maderables, agua-mucílago de nopal, material de excavación de Puebla y la Ciudad de México) realizó varias mezclas con diferentes porcentajes de los componentes de la mezcla; Trabajo sus mezclas en 2 etapas cumpliendo en ambos casos con la norma en cuanto a resistencia a la compresión, absorción inicial y absorción final. En este caso se obtuvo una ligera pérdida de resistencia ya que se trabajó con una máquina semi-industrial y una de carácter artesanal, sin embargo, al igual que Aquino su resultado fue satisfactorio para la normativa de construcción del año 2004, concluyendo que resulta más económico construir un metro cuadrado de muro construido con mampostería ecológica que uno construido con mampostería convencional industrializado⁴.

López (2018) indagó sobre el uso de residuos en su trabajo referente a el análisis de las propiedades fisicoquímicas y mineralógicas de los materiales empleados en la elaboración de recobloques, los cuales consistían principalmente en la fabricación del recobloque utilizando residuo de construcción, excavación y especialmente mucílago de nopal en algunas de sus mezclas. En conclusión, es fue factible la utilización de recobloques con mucilago de nopal para la construcción de muros interiores⁵.

Justificación

Es evidente la problemática que generan los residuos de construcción al ambiente, el reto como ingenieros es encontrar la manera en que estos residuos vuelvan a servir como materia prima para la construcción, la idea de trabajar en los bloques de mampostería surgió con una visita realizada a una planta dedicada a la fabricación de bloques de concreto, utilizados en la construcción de estructuras de mampostería, con los más altos estándares de calidad que exige las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México teniendo una producción aproximada de 65 mil piezas de block de concreto, la mampostería a lo largo de la historia ha ido evolucionando en México, los bloques de concreto son una buena área para el aprovechamiento de los residuos de la construcción.

³ Bolaños, EA (2015). Reciclaje de residuos de la construcción para la fabricación de ladrillos sustentables. Universidad Nacional Autónoma de México.

⁴ de Jesús Aguilar Penagos, A. (2017). FABRICACIÓN DE BLOQUES ECOLÓGICOS A BASE DE MATERIAL PRODUCTO DE LA CONSTRUCCIÓN. Universidad Nacional Autónoma de México.

⁵ López, J.A.L (2018). ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MINERALÓGICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE RECOBLOQUES. Universidad Nacional Autónoma de México.

El propósito de esta investigación es demostrar que los bloques hechos con residuos de la construcción pueden ser utilizados no solo para la construcción de muros no estructurales, mejorando las propiedades de los residuos pueden comportarse mecánicamente en forma similar a bloques fabricados con materiales extraídos de banco, con la finalidad de que sirvan como materia prima para la elaboración de bloques con fines de uso estructural.

Objetivos de la investigación

General: Fabricar bloques de mampostería con residuos de la construcción mediante modelos de ensaye en laboratorio, con la finalidad de comprobar que cumplen con el Reglamento de Construcción y la normativa de mampostería de la CDMX⁶ y así poder tener una comparativa de su desempeño en condiciones usuales de proyecto con elementos de mampostería comúnmente utilizados en la industria de la construcción; lo anterior permitiría la elaboración de proyectos ecológicos y sustentables.

Particular:

- Estudiar el reúso de los residuos de la construcción y demolición con base en PROY-NADF007-RNAT-2019⁷, que establece la clasificación y especificación del manejo integral para los residuos de construcción y demolición en la Ciudad de México.
- Analizar el comportamiento de los materiales reciclados para una posible aplicación en la construcción.
- Generar estrategias que permitan emplear los residuos de construcción para su correcto aprovechamiento en la industria de la construcción.
- Elaborar bloques de mampostería con los residuos de construcción.
- Llevar a cabo pruebas en los especímenes elaborados para encontrar valores y dosificaciones de diseño más favorables.
- Construir modelos de ensaye para probar el comportamiento de los bloques elaborados y poder comprobar su comportamiento en condiciones naturales de trabajo
- Interpretar los datos obtenidos de las pruebas hechas a los modelos de estudio y comparar su comportamiento con elementos de mampostería comúnmente utilizados.

⁶ Ciudad de México.

⁷ SEDEMA. (2021). PROY-NADF-007-RNAT-2019. GACETA OFICIAL DE LA CIUDAD DE MEXICO.

- Comparar costos con los proyectos construidos con mampostería más usuales.
- Facilitar el conocimiento académico y la investigación en beneficio del desarrollo de las comunidades urbanas del centro de México a través de proyectos ecológicos y sustentables aplicados a la construcción.
- Analizar si las estrategias y conocimiento que genera la investigación se pueden aplicar a otras zonas urbanas y rurales de la República Mexicana.
- Hacer un análisis de la factibilidad técnica, económica y ambiental.

Propuesta y solución

La finalidad de esta investigación es generar un modelo que pueda ser llevado a la práctica y que pueda servir de base para todo aquel que quiera hacer uso de esta información con beneficio a la sociedad y el ambiente.

Descripción del problema

La construcción de obras de ingeniería civil, su influencia en la sobreexplotación de los recursos naturales y la problemática ambiental actual.

Enfoque y alcance de la investigación

La construcción de obras de vivienda y edificación, sustentable – ecológica como reducción de la problemática ambiental en la Ciudad de México; El uso de residuos de construcción para la elaboración de bloques de mampostería, estudiando su comportamiento en condiciones naturales simulado en laboratorio, cumpliendo con la normativa de la Ciudad de México y así poder determinar su factibilidad.

Hipótesis

Con el desarrollo de este proyecto se espera comprobar que los residuos de construcción y demolición son una buena fuente de materia prima para la elaboración de bloques y construcción de elementos de mampostería ya que se están desperdiciando y pueden ser utilizados en proyectos de vivienda y edificación, cumpliendo con los estándares de normatividad y calidad aplicadas a la mampostería con la cual se construye en la Ciudad de México.

Utilidad de la tesis

La finalidad de esta investigación es obtener información que sirva para ayudar con la problemática para la que es realizada, contribuyendo al futuro desarrollo de nuevos proyectos y obras de ingeniería que busquen satisfacer las necesidades de funcionalidad, sustentabilidad, ecología y economía para el desarrollo de proyectos de vivienda, ayudando así a la preservación de los recursos naturales y la mitigación del impacto ambiental.

Esta investigación servirá de base para desarrollar el sustento teórico tomando en cuenta los conceptos básicos en cuanto a residuos sólidos urbanos, industriales y de la industria de la construcción.

CAPÍTULO 1 Marco teórico.

1.1 Los residuos de construcción

Según el Informe de la Situación del Medio Ambiente en México-2013, se denomina residuos sólidos urbanos a los que se generan durante el desarrollo de las actividades cotidianas en el hogar o los que provienen también de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de los establecimientos en la vía pública, comercios y algunas actividades, procesos y características productivas⁸.

De acuerdo con el Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México (2016) la generación de residuos sólidos urbanos en la Ciudad de México es del orden de 12,893 ton/día. En lo que corresponde a la generación de residuos de la construcción y demolición, según estimaciones proporcionadas por las Alcaldías políticas de la Ciudad de México, la generación de estos residuos alcanza valores de 7,000 ton/día⁹.

Aunado a la información anterior los residuos generados por la industria de la construcción varían mucho dependiendo de las actividades que se realicen en cada obra. Los residuos que se generan durante el desarrollo de las actividades de la construcción están compuestos principalmente por pedazos de materiales sobrantes de las actividades que se realizan para construir una obra:

- Madera.
- Paneles de yeso (tabla roca).
- Cemento, concreto endurecido y agregados pétreos.
- Residuos de albañilería.
- Metales, vidrio y plásticos.
- Asfalto.
- Ladrillos y bloques.

⁸ SEMARNAT. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México. 2013.

⁹ Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (2016-2020). En PGIRS (pág. 55). SEMARNAT.

- Materiales de excavación.

Además, los residuos generados en industria de la construcción durante el desarrollo de los procesos constructivos, los sobrantes o desperdicios de dichos procesos son materiales que se pueden volver a utilizar. Por lo tanto, la siguiente Norma procura reducir su disposición en espacios autorizados y evitar un manejo inadecuado en Suelo Urbano y de Conservación.

“...La Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal clasifica a los residuos de la construcción y demolición como un residuo de manejo especial dentro de la Ciudad de México, tanto por la cantidad de material involucrado y su impacto en el ambiente debido a una disposición inadecuada como por su potencial de reúso y reciclaje¹⁰...NADF-007-RNAT-2013” Gaceta oficial del Distrito Federal (2015.)”.

Los residuos de construcción y demolición y otras actividades relacionadas en la Ciudad de México se han incrementado como consecuencia del aumento de obras públicas y privadas ya que se construyen nuevas edificaciones o se remodelan las existentes; en los últimos años en los cuales se incrementaron de manera gradual como consecuencia del sismo del 19 de septiembre de 2017 en el cual se demolieron total o parcialmente 1,506 edificaciones y otras 4,757 están esperando ser demolidas por ser consideradas inhabitables por el alto riesgo de colapso que representan. lo anterior tiene repercusiones ambientales que se deben atender de manera urgente por la cantidad de residuos que van a generar, es por ello que se deben generar estrategias para el aprovechamiento de estos recursos; En 2014 se generaron 12,003,359.51 metros cúbicos de residuos de la construcción, 18,478.71 toneladas material ferroso y 26,151.94 toneladas de otro tipo de residuos asociados a las obras de construcción o demoliciones (PROY-NADF-007-RNAT-2019¹¹).

Los generadores o productores de residuos de construcción de la ciudad de México se clasifican de la siguiente manera:

- Grandes generadores producen aproximadamente 80 m³/año (o proyecto)
- Pequeños generadores entre 7 m³/año y hasta 79 m³/año (o proyecto)
- Microgeneradores llegan a producir hasta 7 m³/año (o proyecto)

¹⁰ del Medio Ambiente, S. (2015). GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL (Pág.. 96)

¹¹ PROYECTO DE NORMA AMBIENTAL PARA LA CIUDAD DE MÉXICO PROY-NADF-007-RNAT-2019. En SEMARNAT (pág.35). SEMARNAT.

Con la finalidad de determinar y controlar de mejor manera el origen de los residuos de construcción que se generan en las construcciones, estos se dividen en tipo: Residencial las cuales son casas habitación o departamentos y las no residenciales que pueden ser obras con fines industriales, hoteles, obras de servicios, escuelas, centros comerciales u hospitales. Los residuos a su vez se clasifican dependiendo de qué actividad los genera y pueden ser:

- Construcción
- Desmantelamiento y/o demolición
- Restauración, adecuación, remodelación y/o rehabilitación.

Dependiendo del tipo de obra o actividad se presenta un estimado de los residuos de construcción generados como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Estimación de volumen de residuo de construcción generado

Tipo de obra	Residuos de construcción generados por m ² de edificación.
Edificación nueva	0.57 m ³ /m ² construido
Obras de demolición parcial	0.067 m ³ /m ² demolido
Infraestructura de carreteras	1.56 m ³ / m ² demolido
Demolición total de fábricas	0.74 m ³ / m ² demolido
Demolición total de estructura de concreto	1.22 m ³ / m ² demolido
Demolición de naves industriales, estructura metálica	1.26 m ³ / m ² demolido
Demolición de naves industriales, estructura de concreto	1.19 m ³ / m ² demolido
Obras de rehabilitación	0.25 m ³ /m ² rehabilitado

Fuente: PROY-NADF-007-RNAT-2019.

Los principales componentes de los residuos de construcción son provenientes de excavación y equivalen aproximadamente al 39%, escombros 24%, concreto 25% y otros 12% los cuales conforman el Residuo de construcción final, el cual solo se aprovecha el 4%, 3% reciclado y 1% reúso, (CMIC 2017¹²).

Existen varios sitios autorizados por la CDMX y la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) para la disposición de materiales de excavación y construcción, la mayor parte de ellos ubicados en el Estado de México y 2 de ellos en la CDMX, (SEDEMA 2011¹³).

¹² Plan de Manejo de residuos de la construcción y la demolición. (2017). En CMIC (pág. 99). Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.

¹³SEDEMA. (2011). SITIOS AUTORIZADOS PARA LA DISPOSICIÓN DE MATERIALES DE EXCAVACIÓN Y DE CONSTRUCCIÓN.

Sitios autorizados para la disposición de materiales de excavación y de construcción en el Estado de México:

- 3 tiros en Huixquilucan: Dos cerritos y el Escobal a cargo de Ejido la Magdalena Chichicaspa y la Ratonera.
- 2 tiros en Zumpango: Deposito de material procedente de excavaciones y obras de construcción, y Sitio de tiro Ejido de San Juan Zitlaltepec a cargo de CARSO Infraestructura y Construcción, S.A. de C.V.
- 1 tiro en Naucalpan: disposición final de material residual procedente de excavaciones y obras de construcción, a cargo del Consejo de Administración de la Industria Ejidal San Francisco Chimalpa.
- 1 tiro en Ixtapaluca: Recepción de residuos de la construcción y material de excavación, proveniente de obras a cargo de Tecnosilicatos de México S.A. de C.V.
- 1 tiro en Huehuetoca: Banco de tiro San Miguel Jagueyes a cargo de Construcciones y Trituraciones, S.A. de C.V.
- 1 tiro en Acolman: Tiro de Ejido Tepexpan que consiste en la disposición final de residuos de manejo especial (residuos de demolición de edificaciones, residuos del levantamiento de la carpeta asfáltica y residuos de excavaciones para preparar la construcción de obras civiles y residuos de excavaciones de minas) a cargo de Martínez Villegas, S.A. de C.V.
- 1 tiro en Calimaya: Sitio de disposición final de residuos de manejo especial La Magdalena a cargo de Construcción y Comercialización Hidra, S.A. de C.V.
- 1 tiro en Chalco: Depósito de materiales procedente de la excavación de las lumbreras y del túnel del Río de la Compañía en el socavón de San Marcos Huixtoco en una superficie de 2.04 ha. a cargo de Túnel río de la compañía y/o Alejandra Estébanes Fonseca.
- 1 tiro en Coacalco: Rehabilitación de la mina La Bezana consistente en el relleno de dicha mina de materiales pétreos en una superficie de 12.23 ha. a cargo de Lausan, S.A. de C.V.
- 1 tiro en Texcoco: Restauración de la Mina arenera San Jorge a cargo de Maur S.A. de C.V.
- 1 tiro en Xonacatlan: Sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial a cargo de Grupo Contadero, S.A. de C.V.

Sitios autorizados para el reciclamiento de materiales Pétreos y residuos de construcción en la Ciudad de México:

- 1 tiro en Calle del Árbol no. 106, colonia el Triángulo, Alcaldía Iztapalapa, CDMX: “proyecto de operación “Planta para el reciclado de materiales pétreos de desecho de la Construcción en la Ciudad de México”, en el predio conocido como la esperanza, “El Yehualique” en la Alcaldía Iztapalapa, México, CDMX.” a cargo de Concretos Reciclados S.A. de C.V.
- 1 tiro en Anillo Periférico sur número 7555, Colonia Rinconada Coapa, Alcaldía Xochimilco, CDMX: Centro de transferencia y almacenamiento temporal de residuos de la construcción Cuemanco.

1.2 Características LEED en residuos de la construcción

La construcción sostenible requiere definir las construcciones sostenibles; la organización de USGBC¹⁴ comenzó a indagar cuales son los parámetros que deberá cumplir una construcción para definirse como sostenible, dando como resultado un comité el cual debe estar compuesto por profesionales y especialistas, con la siguiente composición de personal. Arquitectos, agentes inmobiliarios, un propietario de una edificación, un abogado, un experto ambientalista y representantes de la industria de la construcción. El primer programa LEED¹⁵ piloto se lanzó en una cumbre de USGBC en 1998 (LEED, 2009).

La característica LEED se basa en tecnologías que evalúan la eficiencia ambiental a partir de la perspectiva de la construcción y el ciclo de vida de los edificios, proporcionando una norma que lo constituye como sostenible en diseño, proceso de construcción y su puesta en marcha u operación, la clasificación LEED clasifica construcciones desde edificios, centros comerciales y oficinas, recién construidos o viejos, basándose en el principio energético y ambiental aceptado, cada clasificación se divide en 5 categorías de ambiente:

- Parcelas sostenibles.

¹⁴ U.S Green Building Council USGBC (Consejo de Construcción Ecológica de los Estados Unidos)

¹⁵ Líder en Eficiencia Energética y Diseño sostenible.

- Eficiencia en agua.
- Energía.
- Atmósfera.
- Materiales y recursos.
- Calidad medioambiental interior.

Hay una clasificación extra, innovación en el diseño, la cual se dirige directamente a los expertos en construcción sostenible, también abarca las medidas de diseño no cubiertas por las 5 categorías anteriores, una de las características de las construcciones LEED¹⁶ son los puntos regionales que reconocen la importancia de las condiciones locales y determinan mejores prácticas de diseño y construcción ambiental.

Los créditos LEED se basan en los potenciales impactos ambientales y los beneficios a la sociedad de cada uno de los créditos, los impactos se definen como el efecto ambiental o de diseño, construcción, operación y mantenimiento del edificio y son las emisiones de gases de efecto invernadero y cualquier agente que contamine el ambiente y para cuantificar cada tipo de impacto se utilizan una combinación de métodos entre los que destacan la modelización energética, valoración del ciclo de vida, la concesión resultante de puntos se le conoce como peso de los créditos, el cual se califican de la siguiente manera:

- Todos los créditos se valoran con el mínimo de un punto.
- No hay decimales, solo enteros.
- Todos los créditos son positivos.
- Todos los créditos reciben un peso único y estático de cada sistema de clasificación.
- Todos los sistemas constan de 100 puntos básicos.

“Los prerequisites LEED (2009) para la nueva construcción y grandes remodelaciones se dirigen de 7 temas”:

- Parcelas sostenibles (PS).
- Eficiencia en agua (EA).
- Energía y atmósfera (EYA).

¹⁶ Líder en Eficiencia Energética y Diseño sostenible.

- Materiales y recursos (MR).
- Calidad ambiental interior (CAI).
- Innovación en el diseño (ID).
- Prioridad regional (PR).

“La certificación LEED (2009) para la nueva construcción y grandes remodelaciones se califica de acuerdo a la siguiente escala”:

- Certificado 40-49 puntos.
- Plata 50-59 puntos.
- Oro 60-79 puntos.
- Platino 80 puntos y más.

1.2.1 Materiales y recursos.

Uno de los principales propósitos es reducir la cantidad de residuos que generan los ocupantes del edificio, facilitando su transporte depositándolos en vertederos o contenedores; Uno de los requisitos que deben cumplir los edificios LEED¹⁷ es proporcionar un área para que estos residuos sean retirados del edificio de manera eficiente, que sea funcional para todo el edificio, almacenando materiales no tóxicos para su reciclaje. El propósito principal de todo esto es prolongar la vida útil de los edificios, preservar sus recursos, mantener sus recursos culturales, reduciendo la cantidad de residuos y el impacto ambiental que estos generan, incluyendo la construcción de nuevos edificios durante su construcción y transporte de materiales. El porcentaje mínimo de mantener la estructura del edificio, envolvente (fachadas) serán los siguientes:

Reutilización y su equivalente en puntos

- 55% - 1.
- 75% - 2.

¹⁷ Líder en Eficiencia Energética y Diseño sostenible.

- 95% - 3.

1.2.2 Gestión de residuos de construcción.

La gestión de residuos de construcción y demolición consiste en transportar los contenedores que almacenan estos y trasladarlos a un tratamiento de residuos con la finalidad de que sirvan para la fabricación de materiales con propiedades útiles para la construcción de nuevos edificios; para lograr este proceso se deben implementar planes de gestión de los residuos de construcción que pueden ir desde identificar los materiales, clasificación, transporte hasta el tratamiento en conjunto. Los requisitos que deben cumplir son:

Reciclados o recuperados y su equivalente en puntos.

- 50% - 1.
- 75% - 2.

Reutilización de los materiales.

El reciclaje y la reutilización de los residuos optimizando su uso, utilizar materiales recuperados y restaurados son esenciales para construir un equivalente mínimo del 5% en función del costo del valor total de los materiales.

Materiales reutilizados y su equivalente en puntos.

- 5% - 1.
- 10% - 2.

Contenido de reciclados.

La utilización de los productos con cierto contenido de material reciclado durante la fabricación de nueva materia prima utilizada en la construcción, debe cumplir con un costo equivalente al 10% - 20% del valor de la materia prima del proyecto, el porcentaje mínimo de materiales reciclados, está relacionado con el peso del producto directamente, para

obtener este porcentaje se debe multiplicar por el costo total, el costo reciclado del producto deberá cumplir con lo siguiente:

Contenido de material reciclado y su equivalente en puntos

- 10% - 1.
- 20% - 2.

1.2.3 Materiales de la región.

Establece que se deben fabricar y elaborar los productos, cuya, materia prima se haya extraído, recolectado, recuperado en un radio de 800 km alrededor del edificio, para un mínimo del 10% al 20% del valor total de los materiales.

Materiales regionales y su equivalente en puntos.

- 10% - 1.
- 20% - 2.

1.2.4 Materiales rápidamente renovables.

Reducir el costo de los materiales y materia prima replazándolos con materiales que sean renovables, usando materiales de construcción que se recolecten o reciclen en un periodo más corto a 10 años para el 2.5% del valor de los materiales totales involucrados en la construcción.

1.3 Norma mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 Edificación Sustentable, Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos.

La norma anterior especifica los criterios y parámetros que deben cumplir las edificaciones sustentables en México para contribuir a la preservación del ambiente y la mitigación de los impactos ambientales, aprovechamiento de los recursos naturales y la sustentabilidad, tomando en cuenta la factibilidad económica y la constructibilidad, la norma es de carácter opcional para construcciones dentro de la República Mexicana y puede ser aplicada a edificaciones desde el sector público, privado y a estructuras de diversa índole desde centros comerciales, industrias, servicios y habitacionales; La norma puede aplicar desde construcciones nuevas y sus obras exteriores así como para obras existentes, aplicable a cada una de las fases durante su diseño, construcción, operación, mantenimiento, demolición, remodelación y reacondicionamiento.

La transformación de los residuos a través de algún proceso que nos permita recuperar parte de su valor económico de manera que se obtenga un significativo ahorro de energía y materia prima, todos los materiales deberán cumplir con la normatividad vigente para obras nuevas o remodelaciones. Deberá contarse con los siguientes datos¹⁸:

- Cantidad de materia prima contenida en el material.
- Cantidad de energía (Extracción, manufactura, colocación en obra, mantenimiento y operación).
- Transporte (Extracción, manufactura y distribución a la obra).
- Vida útil del material.
- Generación de residuo, manufactura y colocación.
- Desempeño del material y mantenimiento de la estructura.

¹⁸ De economía, S. (2013). NMX-AA-164-SCFI-2013 EDIFICACIÓN SUSTENTABLE - CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS AMBIENTALES MÍNIMOS.

1.3.1 Disposición final prevista

La utilización de recursos y materia renovable, así como materiales que provengan de prácticas de aprovechamiento sustentable, al menos 50% de los materiales utilizados en algún proceso constructivo de una obra nueva puede ser reciclable; Al menos 10% de reutilizados o reciclados puede usarse en obra, se debe diferenciar entre los materiales post consumo y pre consumo. En el reciclaje de la rehabilitación de edificios se pueden utilizar hasta el 30% en los elementos no estructurales, muros, pisos, techos y acabados (NMX-AA-164-SCFI-2013).

1.4 La edificación sustentable

El impacto ambiental que las edificaciones generan durante todas sus etapas y su ciclo de vida es muy grave, las actuales prácticas de construcción afectan desde el valor comercial, salud de los trabajadores y productividad, así como aspectos de índole social y calidad de vida, el impacto que generan las construcciones tienen muchas repercusiones que van desde la emisión de gases de efecto invernadero, consumo excesivo de energías, consumo y contaminación de agua, desecho de una diversidad de residuos de construcción y demolición producto de procesos constructivos. En México las edificaciones son responsables aproximadamente de 17% de consumo de energía, 5% consumo total de agua, 25% del consumo de energía eléctrica, 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero, 20% de los desechos generados¹⁹.

La reducción de los desechos por medio de un modelo y mejor manejo de reciclaje y reutilización de los materiales tendría una reducción considerable del impacto ambiental, la edificación sustentable nos ayudaría a reducir entre 30% el consumo de energía, 35% de la emisión de gases de efecto invernadero, 30% o hasta el 50% de consumo de agua y reducir del 50% al 90% el costo de los desechos, ayudando al impacto social y contribuyendo a la mejora significativa de la calidad de vida (Cervantes y Ramírez, 2016).

¹⁹ Mtro. Alejandro Cervantes Abarca-Arq. Alberto Ramírez Alférez. (2016). LA EDIFICACIÓN SUSTENTABLE (NORMATIVIDAD EN MÉXICO). Compilación de artículos de investigación 2016.

1.5 Mampostería

La mampostería es uno de los métodos que se utilizan para construir estructuras, con mayor diversidad de usos a lo largo de la historia, y es uno de los métodos para la construcción más antiguos de la historia, que no deja de tener mucha importancia hasta nuestros días. Los elementos que se utilizan para su construcción son muy variados y pueden ser desde simples rocas, elementos de elaboración artesanal, hasta bloques que sean elaborados de manera mecanizada e industrializada, estos elementos pueden ser de distintos materiales como arcilla, concreto y piezas refractarias. Cuando se habla de mampostería se relaciona desde prácticamente la aparición del hombre y su primera necesidad de protegerse de las inclemencias del tiempo (paleolítico superior e inferior). El cual construía sus primeras estructuras de mampostería con rocas sobrepuestas, el siguiente paso de este proceso fue el desarrollo de mortero de arcilla con agua que fue utilizado como material de liga entre los elementos permitiendo un mejor acomodo de las piedras logrando con esto una mayor altura. El hombre tuvo la necesidad de mejorar sus refugios cuando surgió la agricultura y dejó de ser nómada para pasar a su vida sedentaria y el surgimiento de los primeros asentamientos humanos²⁰ (SMIE A.C. 2020, LIMUSA).

La evolución de la mampostería a lo largo de la historia se ha desarrollado paulatinamente tanto que el uso de sus elementos se ha convertido en uno de los mejores hasta nuestros días.

La construcción de estructuras de mampostería se basa en la interacción de elementos que van desde piezas que se clasifican en piezas macizas, huecas y multiperforadas; Las piezas que sean usadas con fines estructurales deben cumplir con los parámetros que establece la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012, así mismo deberán cumplir con una resistencia mínima a compresión, deben cumplir con una dimensión modular, peso volumétrico neto mínimo en estado seco. Los diferentes tipos de piezas con las que se trabaja en las obras en las cuales se construyan estructuras de mampostería están definidas en la norma mexicana antes mencionada²¹ (NTC, 2017).

²⁰ SMIE. A.C (2020). Edificaciones de mampostería. LIMUSA.

²¹ MIE. (2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

1.5.1 Tipos de piezas de mampostería

Los tipos de piezas más usados en la construcción de estructuras de mampostería son de concreto y barro extruido, estos tipos de piezas se fabrican principalmente de arcilla, cemento y concreto, estas piezas pueden ser **macizas, huecas y multiperforadas**.

Pieza de mampostería se denomina al elemento de carácter rectangular o prismático, que puede ser fabricado con cemento, concreto, arcilla extruida o comprimida, mediante un proceso de cocción, moldeo con o sin vibro compactación de alguna dosificación de agregados finos y gruesos mezclados con un cementante, fabricados mediante un proceso artesanal o industrial mecanizado²² (NMX-C-404-ONNCCE-2012).

Las piezas macizas son aquellas que tienen en su sección transversal más favorable una sección de por lo menos el 75% de su área bruta y con un espesor de paredes exteriores no menor que 20 mm²³ (NTC, 2017).

Las piezas de mampostería bloques y tabiques deberán tener un área neta mayor o igual al 75% de su área total bruta y un espesor no menor que 20 mm en sus paredes exteriores (NMX-C-404-ONNCCE-2012).

Las piezas huecas son aquellas que tienen un área neta calculada mayor o igual al 50% y de preferencia menor al 75% de su área total bruta. El espesor mínimo de sus paredes exteriores debe ser de 13mm. (NMX-C-404-ONNCCE-2012).

Las piezas huecas son las que tienen en su sección transversal más desfavorable un área de 50 % del total de su área bruta, las paredes internas y externas deberán cumplir con un espesor mínimo de 15 mm en las exteriores y 13 mm en las interiores (NTC, 2017).

Las piezas multiperforadas son aquellas que deben cumplir la característica de tener más de 7 perforaciones distribuidas uniformemente, con dimensiones similares en los huecos, con un espesor mínimo de paredes no menor que 7mm en tabiques y 10 mm en bloques;

²²NMX-404-ONNCCE-. (2012). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES PARA USO ESTRUCTURAL, ESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C.,MMXII.

²³ MIE. (2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

Las piezas pueden ser huecas o macizas dependiendo de su porcentaje total de área neta²⁴. (NMX-C-404-ONNCCE-2012).

1.5.2 Clasificación de las estructuras de mampostería

Las estructuras de mampostería se clasifican en tipo I y tipo II (NTC, 2017) con las siguientes características²⁵:

Tipo I

- Contar con un total de superficie construida $< 250 \text{ m}^2$.
- Un máximo de 2 niveles incluyendo el estacionamiento.
- Un máximo de 10 viviendas en el predio, habitación unifamiliar, plurifamiliar y servicios.
- Pertenecer al tipo de estructuras tipo B de las NTC.

La mampostería que se utilice para la construcción de este tipo de estructuras deberá cumplir con un espesor de muros mínimo de 10 cm.

Tipo II

- Estructuras tipo A NTC.
- Edificios de más de 3 niveles.
- Desarrollos habitacionales de más de 10 viviendas.

Los elementos de mampostería que se utilicen para la construcción de este tipo de estructuras deberán tener un espesor mínimo de 12 cm.

La mampostería se subdivide según su uso el cual puede ser de carácter estructural (NMX-C-404-ONNCCE-2012). La mampostería de uso estructural es aquella en la cual sus

²⁴ NMX-404-ONNCCE-. (2012). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES PARA USO ESTRUCTURAL, ESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C.,MMXII.

²⁵ MIE. (2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

elementos deben cumplir con ciertas características, para el buen funcionamiento de este tipo de muros, sus características son las siguientes²⁶:

- Espesor mínimo de la pieza de 10 cm.
- Que tenga la capacidad de soportar cierto tipo de cargas gravitacionales y accidentales, sísmicas y de viento.
- Las piezas huecas deben tener cierto tipo de perforaciones en su cara de apoyo, solo se aceptan perforaciones en la cara vertical de la pieza.

1.6 Piezas de mampostería con residuos de la construcción

Las piezas de mampostería ecológicas tienen cualidades muy similares a los elementos o piezas de mampostería convencional que más se utilizan para la construcción de estructuras de mampostería, se deben llevar a cabo las pruebas en los materiales utilizados en la fabricación de este tipo de bloques para garantizar el buen comportamiento de estos al formar parte de una estructura; Los estudios básicamente parten desde la selección del banco de material reciclado, hasta las pruebas necesarias respecto a la NMX-C-404-ONNCCE-2012 de bloques de mampostería con la finalidad de asegurar la calidad del bloque²⁷ (Aguilar, 2017).

Bloque de tierra comprimida: Es aquel al que se le agregan materiales con la finalidad de que sus propiedades mecánicas mejoren; En su proceso de fabricación se utiliza una máquina que comprime el material logrando que este adquiera cierta dureza y resistencia, entre otras de sus propiedades mecánicas. La dosificación que se recomienda para la fabricación de este tipo de bloques es de 25 % de arcilla del total de tierra utilizada para la elaboración del bloque, así como un T.M.A.²⁸ 20 mm de partículas, del volumen total de la mezcla debe predominar en mayor porcentaje partículas finas para que estas tengan en la mezcla un efecto de cohesión y adherencia; Después de elaborado el bloque mediante la compresión en la máquina, al ser extruido debe ser sometido a un proceso de curado debido al contenido de material cementante

²⁶ NMX-404-ONNCCE-. (2012). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES PARA USO ESTRUCTURAL, ESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C.,MMXII.

²⁷ de Jesús Aguilar Penagos, A. (2017). FABRICACIÓN DE BLOQUES ECOLÓGICOS A BASE DE MATERIAL PRODUCTO DE LA CONSTRUCCIÓN. Universidad Nacional Autónoma de México.

²⁸ Tamaño Máximo de Agregado.

en la mezcla, el cual produce un calor de hidratación producto de la reacción química que sucede entre el cemento y el agua²⁹.

Adobe: son bloques fabricados de manera artesanalmente y cuya materia prima para su elaboración son principalmente arcilla, arena limosa y algunas fibras que se mezclan con agua y se secan directamente al sol, después de que estos son moldeados (López, 2018).

Ladrillos de arcilla: son ladrillos que se elaboran mediante técnicas artesanales muy antiguas, las cuales varían entre distintas regiones, su proceso de fabricación tiene un impacto ambiental muy leve ya que contamina muy poco, su uso en la industria de la construcción ha disminuido, debido a su mal comportamiento al recibir cargas accidentales, cargas sísmicas principalmente (López, 2018).

1.7 Componentes de una mezcla para elaboración de bloques.

Un agregado pétreo es el material que proviene de un banco de material que se encuentra en macizos rocosos o algún otro depósito de diferentes tamaños, los cuales pueden ser naturales o procesados por el hombre y que al ser de material rocoso tienen propiedades físicas y mecánicas similares; Estos materiales son comúnmente utilizados para la fabricación de elementos de concreto, terracerías y mejoramiento de suelos principalmente, los agregados pétreos se clasifican principalmente en naturales, artificiales o manufacturados e industriales. Los agregados pétreos constituyen hasta 75% del volumen contenido total de la mezcla³⁰ (Olguín, 2016).

1.7.1 Clasificación, características y tipos de agregados

La clasificación de los agregados pétreos depende de varios factores, fragmentación, tamaño, color, composición mineralógica y masa unitaria.

²⁹ López, J.A.L (2018). ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MINERALÓGICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE RECOBLOQUES. Universidad Nacional Autónoma de México.

³⁰ Olguín, DFM (2016). Proceso de Producción de Agregados Pétreos y su Control de Calidad. Universidad Nacional Autónoma de México.

La fragmentación se divide principalmente en 3 tipos³¹:

- Naturales: Los cuales se encuentran en bancos de material natural que se hallan en depósitos de roca no consolidada que puede ser extraído por medios manuales o mecánicos, para su utilización solo es necesario que el material sea sometido a un proceso de cribado.
- Artificiales o manufacturados: Son aquellos que se encuentran en macizos rocosos y para su extracción es necesario que el material sea dinamitado, posteriormente triturado y cribado para lograr la granulometría requerida.
- Industrializados: Son todos aquellos que son sometidos a un proceso de fabricación; En esta clasificación entran los materiales productos de demoliciones y cualquier otro material que haya sido sometido a un proceso de mejoramiento (Olguín, 2016).

Los residuos de la construcción están compuestos por una gran variedad de residuos, de demolición, de desmantelamiento, de excavación y algunos procesos constructivos entre otros; La composición de estos residuos es muy diversa y depende de varios factores, tipo de proyecto, obra, procedimiento constructivo; Se puede observar en la tabla 6 de clasificación de los residuos de construcción y su posible aplicación (NADF-007-RNAT-2013 en Aguilar 2017).

Los residuos de la construcción se clasifican de la siguiente manera, residuos de concreto y mortero, residuos de demolición, productos de excavación y otros tipos de residuos.

Residuos de concreto y mortero: son todos los residuos provenientes de elementos prefabricados, concretos convencionales y estructurales, así como sobrantes de concreto elaborado en planta y en obra, los cuales pueden ser utilizados para la elaboración de terracerías en las estructuras de pavimentos, concretos simples para la construcción de firmes, banquetas y guarniciones, elaboración de productos prefabricados, blocks, tabiques, tabicones, adopastos³².

Residuos de demolición: están compuestos de una gran variedad de materiales mezclados (concreto, morteros, blocks, tabicones, adoquines, tubos de albañal, cerámicas,

³¹ Olguín, DFM (2016). Proceso de Producción de Agregados Pétreos y su Control de Calidad. Universidad Nacional Autónoma de México.

³² de Jesús Aguilar Penagos, A. (2017). FABRICACIÓN DE BLOQUES ECOLÓGICOS A BASE DE MATERIAL PRODUCTO DE LA CONSTRUCCIÓN. Universidad Nacional Autónoma de México.

mampostería, prefabricados de arcilla recocida, tabiques, ladrillos, piedra braza y agregados pétreos), pueden ser utilizados en la construcción de sub-bases en caminos y estacionamientos, construcción de terraplenes, pedraplenes, rellenos en cimentaciones entre otros.

Los provenientes de fresado asfáltico (carpetas asfálticas y bases negras), pueden ser utilizados en bases asfálticas o negras, concretos asfálticos elaborados en caliente, tibio y en frío.

Los residuos de excavación son regularmente suelos no contaminados y algunos materiales arcillosos, granulares con contenido de materiales pétreos en ellos, para reutilizarse deben someterse a un proceso de separación de los mismos³³ (NADF-007-RNAT-2013 en Aguilar 2017).

Los agregados pétreos se clasifican de acuerdo con su granulometría la cual se define en gravas (todo el material que es retenido por la #4) y arenas (todo el material que pasa la malla #4 y retiene la #200)³⁴ (Olguín, 2016).

El color del material no influye en las propiedades mecánicas que son las que interesan principalmente.

La composición mineralógica del material es definida por el tipo de roca del cual es extraído el banco de material, la roca puede ser de origen ígneo, metamórfico o sedimentario.

La clasificación por su masa unitaria o masa volumétrica depende de agregados ligeros (aquellos que sirven para elaborar concretos de masa unitaria menor que 1900 kg/m^3 de bajas resistencias), agregados de masa volumétrica normal (producen concretos de una masa unitaria de 2400 kg/m^3 de resistencias 250 kg/cm^2 en promedio) y pesados (son aquellos que producen concretos de densidad mayor que 2400 kg/m^3 de alta resistencia) (Olguín, 2016).

³³de Jesús Aguilar Penagos, A. (2017). FABRICACIÓN DE BLOQUES ECOLÓGICOS A BASE DE MATERIAL PRODUCTO DE LA CONSTRUCCIÓN. Universidad Nacional Autónoma de México.

³⁴ Olguín, DFM (2016). Proceso de Producción de Agregados Pétreos y su Control de Calidad. Universidad Nacional Autónoma de México.

1.7.2 Tipos de cemento y sus características

El cemento es un material conglomerante formado de silicatos, aluminatos de calcio obtenidos por el cocido de materiales calcáneos, arcillas y arenas, los materiales son pulverizados mezclados con sulfato de calcio o puzolánico (yeso) de origen volcánico, obtenido a partir de arcillas y calizas; El cemento se clasifica de la siguiente manera³⁵ (Márquez y Pintor, 2012):

Tipo – denominación.

- CPO – Cemento Portland Ordinario.
- CPP – Cemento Portland Puzolánico.
- CPEG – Cemento Portland Escoria Granulada de Alto Horno.
- CPC – Cemento Portland Compuesto.
- CPS – Cemento Portland Humo de Sílice.
- CEG – Cemento con Escoria Granulada Alto Horno.
- RS – Resistente a Sulfatos.
- BRA – Baja Reactividad álcali agregado.
- BCH – Bajo calor de Hidratación.
- B – Blanco.

Los cementos se pueden clasificar de acuerdo con su resistencia a la compresión la cual es desarrollada en cierto número de días, regularmente 28 días, su clasificación de acuerdo con la resistencia se añade a la nomenclatura que define el tipo de cemento y es la siguiente:

Resistencia a los 28 días:

- 20 – mínima 204 kg/cm²

³⁵ MÁRQUEZ MORENO JOSÉ ROBERTO - PINTOR HIDALGO FRANCISCO JAVIER. (2012). MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO OPTIMIZANDO LA RELACIÓN AGUA – CEMENTO, GRAVA – ARENA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PARA PRODUCIR CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO. Universidad Nacional Autónoma de México.

- 30 – mínima 306 kg/cm² y máxima 510 kg/cm²
- 40 - mínima de 408 kg/cm²

Sub clasificación.

Resistencia a los 3 días:

- 30R - mínima 306 kg/cm²

Resistencia a los 3 días:

- 40R – mínima 408 kg/cm²

CAPÍTULO 2 Metodología

2.1 Elaboración del bloque de mampostería.

La fabricación del bloque de concreto elaborado con residuo de la construcción, requiere desde el estudio granulométrico para conocer las propiedades de los materiales con los cuales se fabricará el bloque, hasta la dosificación de los materiales para la elaboración del bloque; Cabe señalar que este proceso es meramente experimental y el avance que se realizó fue en el laboratorio, ya que se hizo el diseño de la mezcla y se espera el tiempo para el ensayo de especímenes que indiquen las normas NMX-C-036-0NNCCE y NMX-C-404-0NNCCE.

2.2 Características geométricas y físicas de los bloques.

Un bloque de mampostería debe tener un largo de 400 mm, ancho nominal de 100 mm y una altura mínima de 200 mm incluyendo la junta de albañilería, los bloques macizos, deben tener un área neta mayor o igual a 75% del área bruta total, las dimensiones de los bloques se especifican en la tabla 2 y se clasifican como macizos, huecos y multiperforados, las dimensiones para la fabricación del bloque no debe incluir el espesor de la junta, esta debe ser ajustada de acuerdo con las tolerancias permitidas para los bloques; Es común tener dimensiones de 190 mm X 390 mm, la dimensión modular de los bloques se refiere a que los bloques al ser fabricados para definir sus dimensiones respetan la dimensión de sus múltiplos de módulo base, para este caso 100 mm que corresponde al espesor de la pieza, los bloques comunes tiene dimensiones de 200 mm X 400 mm entre su altura y longitud respectivamente, la dimensión real debe definirse por la medición de sus lados mediante el método de ensayo especificado en la NMX-C-038-0NNCCE³⁶, las dimensiones de fabricación no deben diferir en ± 3 mm en la altura, ± 2 mm en el largo y ± 2 mm en el espesor³⁷(NMX-C-404-0NNCCE-2012).

Dimensiones de los bloques descrita en la tabla 2:

³⁶ NMX-C-036-0NNCCE-. (2013). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – MAMPOSTERÍA – RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES Y ADOQUINES – MÉTODO DE ENSAYO. ONNCCE, S. C., MMXIII.

³⁷ NMX-C-404-0NNCCE-. (2012). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES PARA USO ESTRUCTURALES ESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C., MMXII

Tabla 2. Dimensiones de los bloques

Dimensión modular de bloques Ancho X alto X Largo. (cm)	Dimensión de fabricación de bloques Ancho X alto X Largo. (cm)	Espesor mínimo de paredes exteriores (mm).	Espesor mínimo de paredes interiores (mm).
10x20x40	10x19x39	20	20
12x20x40	12 x19x39	20	20
14x20x40	14 x19x39	25	25
15x20x40	15 x19x39	25	25
20x20x40	20 x19x39	32	25
25x20x40	25 x19x39	32	30
30x20x40	30 x19x39	32	30

En caso de las paredes expuestas a la intemperie sin recubrimiento, el espesor de la pared exterior mínimo es de 30 mm, en un 90 % del área de dicha cara.

Fuente: NMX-C-404-ONNCCE-2012³⁸.

2.3 Pruebas a los agregados.

2.3.1 Prueba de granulometría para agregados finos y gruesos.

La principal finalidad de la prueba de granulometría es determinar los tamaños y graduación de los agregados para conocer su módulo de finura en caso de la arena y el tamaño máximo del agregado grueso, en la figura 1,2,3 y 4 se pesa una muestra representativa de agregados RDC³⁹ y MB⁴⁰ (ASTM C 136-14⁴¹).



Figura 1. Pesado de la muestra de arena RDC (Fuente propia).



Figura 2. Pesado de la muestra de arena MB (Fuente propia).

³⁸ NMX-C-404-ONNCCE-. (2012). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES PARA USO ESTRUCTURALESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C.,MMXII

³⁹ Residuo de Demolición y Construcción.

⁴⁰ Material de Banco

⁴¹ ASTM INTERNATIONAL. (2014). ASTM C 136 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.



Figura 3. Pesado de la muestra de grava 3/8" RDC⁴² (Fuente propia).



Figura 4. Pesado de la muestra de gravilla 1/4" MB⁴³ (Fuente propia).

Los materiales utilizados para el desarrollo de la práctica son los siguientes:

Báscula con una precisión de 0.1 gr y una aproximación de 0.1 gr y un 0.1 % del total de la muestra para el agregado fin; En caso del agregado grueso una precisión de 0.5 gr y una aproximación de 0.5 gr y un 0.1 % de la masa total de la muestra a ensayar.

Tamices o mallas las cuales deberán estar montadas sobre un marco sólido que impida la pérdida del material que se encuentre en proceso de cribado especificado en⁴⁴ (ASTM E 11), en la figura 5 se observan los tamices y otras herramientas utilizadas en la prueba.



Figura 5. Materiales para la prueba de granulometría (Fuente propia).

⁴² Residuo de Demolición y Construcción.

⁴³ Material de banco.

⁴⁴ ASTM INTERNATIONAL. (2013). ASTM E11 Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves

Equipo de vibración mecánica el cual realizará el movimiento de cribado de 150 ciclos por minuto, se deberá tamizar el tiempo necesario de tal manera que el 1 % del material retenido en un tamiz individual pueda pasar ese tamiz y se deberá tamizar durante un minuto adicional de tamizado manual continuo, el tamizado no deberá exceder los 10 minutos ya que puede provocar una degradación excesiva de la muestra, en la figura 6 se observa el equipo utilizado para el desarrollo de las pruebas⁴⁵.



Figura 6. Equipo de vibración mecánica (Fuente propia).

Horno capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El tamaño de la muestra de agregados deberá ser acorde con la norma (ASTM D 75). El tamaño de la muestra de campo será la cantidad mostrada en la tabla 3 ASTM D 75 o cuatro veces la cantidad requerida, en la figura 7 se observan las muestras después del secado en horno⁴⁶.



Figura 7. Muestras de material en charolas después del secado en el horno (Fuente propia).

⁴⁵ ASTM INTERNATIONAL. (2013). ASTM E11 Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves

⁴⁶ ASTM INTERNATIONAL. (1992). ASTM Standard Practice for Sampling Aggregates D 75.

Agregado fino: la masa de la muestra a ensayar después del secado en el horno deberá ser como mínimo de 300 gramos, en prueba se utilizaron muestras de 700 gramos de arena RDC⁴⁷ y MB⁴⁸.

Agregado grueso: En el caso del agregado grueso la masa de la muestra de ensaye deberá ser acorde al tamaño máximo del agregado a utilizar en prueba se utilizaron muestras de 700 gramos de grava RDC y MB.

Tabla 3. Para el caso de los bloques TMA 3/8"

Tamaño Nominal Máximo de las aberturas cuadradas		Masa mínima de la muestra de ensayo (kg)
9.5 mm	3/8"	1
12.5 mm	1/2"	2
19 mm	3/4"	5
25 mm	1"	10
37.5 mm	1 1/2"	15
50 mm	2"	20
63 mm	2 1/2"	35
75 mm	3"	60
90 mm	3 1/2"	100
100 mm	4"	150
125 mm	5"	300

Fuente: (ASTM D 75⁴⁹)

2.3.2 Procedimiento.

Se deberá secar la muestra de agregado en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, como se muestra en la figura 8, si se requiere de resultados rápidos no es necesario secar los agregados gruesos en el horno.



Figura 8. Secado de las muestras en el horno durante 24 horas (Fuente propia).

⁴⁷ Residuo de Demolición y construcción.

⁴⁸ Material de Banco.

⁴⁹ ASTM INTERNATIONAL. (1992). ASTM Standard Practice for Sampling Aggregates D 75

Selección de los tamices que va desde 3" a la malla del #4 en caso de la grava y #4 a #200 en caso de la arena, la cantidad de material retenido por cualquier tamiz no deberá exceder los 7 kg/m².

Se deberán hacer los cálculos de acuerdo con los porcentajes retenidos por cada tamiz de acuerdo con la (ASTM C 117), en la figura 9,10,11 y 12 se pueden observar las muestras de agregados RDC⁵⁰ y MB⁵¹ después de realizada la prueba granulométrica y pesado de las cantidades retenidas por cada tamiz.



Figura 9. Muestra de arena RDC tamizado (Fuente propia).



Figura 10. Muestra de arena MB tamizado (Fuente propia).



Figura 11. Muestra de grava 3/8" tamizado (Fuente propia).



Figura 12. Muestra de Gravilla de 1/4" tamizado (Fuente propia).

⁵⁰ Residuo de Demolición y construcción.

⁵¹ Material de Banco.

2.4 Dosificación de las mezclas para la elaboración del bloque.

Para la elaboración de los primeros especímenes de la primera etapa experimental de prueba se utilizaron agregados 100% de RDC⁵² en las dosificaciones, con diferente porcentaje de participación en las mezclas.

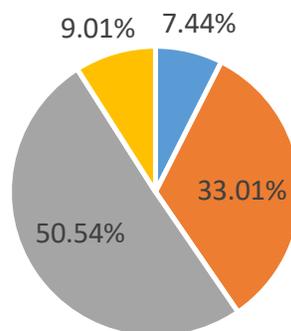
2.4.1 Diseño de mezcla 1, resistencia 100 kg/cm².

La mezcla 1 con resistencia de 100 kg/cm² contiene las cantidades en kilogramos y porcentajes con respecto de 1 m³ de material, la dosificación se puede ver en se puede ver en la tabla 4 y la figura 13.

Tabla 4. Dosificación de materiales mezcla 1

Agregados	1% de 1 m ³	Necesario para fabricar 1 bloque.	% Total de la mezcla
Cemento	1.65 kg	1.32 kg	7.44%
Grava 3/8"	7.33 kg	5.86 kg	33.01%
Arena	11.22 kg	8.98 kg	50.54%
Agua	2.00 kg	1.60 kg	9.01%
Total	22.20 kg	17.76 kg	100.00%

Fuente (Propia).



■ Cemento ■ Grava 3/8" ■ Arena ■ Agua

Figura 13. Porcentaje de materiales que componen la mezcla 1-100 kg/cm² (Fuente propia).

⁵² Residuo de Demolición y Construcción.

2.4.2 Diseño de mezcla 2 resistencia 150 kg/cm².

La mezcla 2 con resistencia de 150 kg/cm² contiene las cantidades en kilogramos y porcentajes con respecto de 1 m³ de material, la dosificación se puede ver en se puede ver en la tabla 5 y la figura 14.

Tabla 5. Dosificación de materiales mezcla 2

Agregados.	1% de 1 m ³	Necesario para fabricar 1 bloque.	% Total de la mezcla.
Cemento.	2.28 kg	1.82 kg	10.26%
Grava 3/8"	7.26 kg	5.81 kg	32.71%
Arena	10.66 kg	8.53 kg	48.02%
Agua	2.00 kg	1.60 kg	9.01%
Total	22.20 kg	17.76 kg	100.00%

Fuente (Propia).

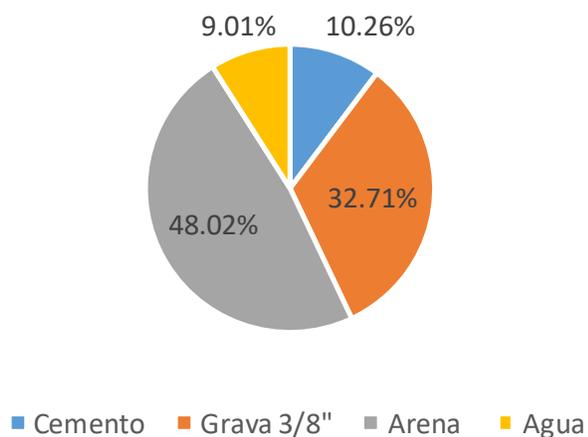


Figura 14. Porcentaje de materiales que componen la mezcla 2-150 kg/cm²(Fuente propia).

2.4.3 Diseño de mezcla 3, resistencia 210 kg/cm².

La mezcla 3 con resistencia de 210 kg/cm² contiene las cantidades en kilogramos y porcentajes con respecto de 1 m³ de material, la dosificación se puede ver en se puede ver en la tabla 6 y la figura 15.

Tabla 6. Dosificación de materiales mezcla 3

Agregados	1% de 1 m ³	Necesario para fabricar 1 bloque	% Total de la mezcla
Cemento	3.03 kg	2.42 kg	13.63%
Grava 3/8"	7.19 kg	5.75 kg	32.36%
Arena	9.99 kg	7.99 kg	44.99%
Agua	2.00 kg	1.60 kg	9.01%
Total	22.20 kg	17.76 kg	100.00%

Fuente (Propia).

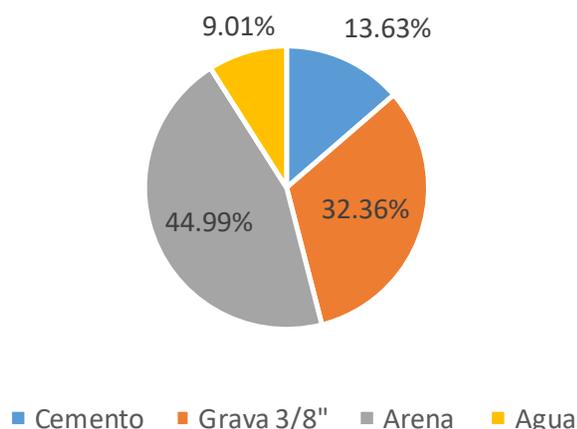


Figura 15. Porcentaje de materiales que componen la mezcla 3-210 kg/cm² (Fuente propia).

2.5 Normatividad y reglamentación aplicada a bloques de mampostería.

NMX-C-036-0NNCCE⁵³ Industria de la Construcción – Mampostería – Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines – Método de ensayo.

NMX-C-404-0NNCCE⁵⁴ Industria de la Construcción – Mampostería – Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural – Especificaciones y métodos de ensayo.

⁵³ NMX-C-036-0NNCCE-. (2013). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – MAMPOSTERÍA – RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES Y ADOQUINES – MÉTODO DE ENSAYO. ONNCCE, S. C., MMXIII.

⁵⁴ MX-C-404-0NNCCE-. (2012). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES PARA USO ESTRUCTURALESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C.,MMXII

2.6 Elaboración de especímenes artesanales hechos con residuos de la construcción

El molde que se utilizará para la fabricación de los bloques deberá cumplir con el especificado en la NMX-C-404-ONNCCE en el apartado de dimensionamiento el cual indica que los bloques deben cumplir con las siguientes características: La dimensión para la fabricación del bloque no debe incluir el espesor de la junta debe ser ajustada de acuerdo con las tolerancias permitidas; Para los bloques es común tener dimensiones de 190 mm X 390 mm, la dimensión modular de los bloques se refiere a que los bloques al ser fabricados para definir sus dimensiones respetan la dimensión de sus múltiplos de módulo base, para este caso 100 mm que corresponde al espesor de la pieza más la junta constructiva, los bloques comunes tiene dimensiones de 200 mm X 400 mm, altura y longitud, respectivamente, las dimensiones de fabricación no deben diferir en ± 3 mm en la altura, ± 2 mm en el largo y ± 2 mm en el espesor⁵⁵, los primeros especímenes se fabricaron con un molde de madera como se muestra en la figura 16.



Figura 16. Molde artesanal de 12 cm ancho X 18 cm alto X 38 cm Largo (Fuente propia).

Pesaje de los agregados pétreos, cemento, agua y aditivos utilizados para la elaboración de las mezclas con las que elaboraran los especímenes de prueba figura 17 y 18.

⁵⁵ NMX-C-404-ONNCCE-. (2012). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA-BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES PARA USO ESTRUCTURALESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C.,MMXII



Figura 17. Pesaje de agregados (Fuente propia).



Figura 18. Pesaje de cemento (Fuente propia).

Elaboración de la mezcla con los agregados y aditivos (ISORETARD-280⁵⁶ y ISOFLOW-852⁵⁷ proporcionados y donados por CEMEX con fines académicos). Las mezclas con las que se trabajó están especificadas en el punto **1.2.5** del presente capítulo en dicho punto se calcularon las cantidades de los materiales utilizados para la elaboración de las tres piezas que posteriormente serán ensayadas.

El llenado del molde se realizó de acuerdo con lo especificado en el (IMCYC⁵⁸ ELABORACIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO, 2006), el cual dice que se deben etiquetar los moldes donde se fabricarán las muestras con el fin de identificarlas de otras dosificaciones trabajadas; colocando el molde, se le impregna de desmoldante para facilitar su desmoldado sobre una superficie nivelada, figura 19. Dicho manual especifica que para revenimientos menores que 2.5 cm como es el caso del utilizado para la elaboración de los bloques se debe realizar una compactación con vibración, como es el caso del CCR (concreto compactado con rodillos), el llenado del molde se realizó en cuatro capas de 5 cm cada una compactando en este caso el concreto con una placa metálica con 25 golpes por capa, figura 20, por último, se enrasa la mezcla de concreto en el molde como se muestra en la figura 21.

⁵⁶ Aditivo retardante de fraguado.

⁵⁷ Aditivo fluidificante.

⁵⁸ Instituto Mexicano del Cemento y del concreto IMCYC. (2006). ELABORACION DE CILINDROS DE CONCRETO EN EL CAMPO. EL CONCRETO EN OBRA. PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES., 4.



Figura 19. Molde con desmoldante (Fuente propia).



Figura 20. Llenado del molde en 4 capas de 5 cm (Fuente propia).



Figura 21. Enrasado del material (Fuente propia).

2.7 Elaboración de especímenes de manera mecanizada hechos con residuos de construcción.

El mezclado de los agregados se llevó a cabo manualmente, como se puede ver en la figura 22, debido a que el personal de la bloquera se encontraba dando mantenimiento preventivo a la mezcladora.

Elaboración de bloques de manera mecanizada, para la cual se usó una máquina para la elaboración de bloques de operación manual con motor trifásico de 2 HP⁵⁹, con 2 moldes para fabricar block macizo de 12 cm x 20 cm x 40cm ancho X alto X largo, con una producción media de 1500 piezas por jornada de 8 horas, la maquina se puede ver en la figura 23. El equipo trabaja por vibro compactación para elaborar bloques de concreto, en el cual se introdujeron las dosificaciones de las mezclas con las cuales se fabricaron los bloques de concreto, la fabricación del bloque se observa en la figura 24 y 25.

⁵⁹Potencia de motor expresada en caballos de fuerza.



Figura 22. Mezcla para elaborar los bloques (Fuente propia).



Figura 23. Máquina para fabricar los bloques (Fuente propia).



Figura 24. Introducción de la mezcla en la máquina (Fuente propia).



Figura 25. Elaboración del bloque de concreto (Fuente propia).

2.8 Ensaye en laboratorio de especímenes para la elaboración de pilas muretes y modelos de ensaye. Resistencia a la compresión NMX-036-ONNCCE.

La resistencia con la que son diseñadas las piezas se determina con información estadística a través de muestreo en planta o en obra; El muestreo de por lo menos 3 piezas, regularmente se deben seleccionar diez piezas de lotes diferentes de producción, las 30 piezas se deben ensayar por un laboratorio certificado, con ello se puede tener la información estadística⁶⁰. El cálculo de la resistencia a compresión de las piezas se determina con las siguientes expresiones (NTC 2017).

$$\text{Formula 1..... } \textit{Resistencia a compresión} = \frac{\textit{Carga Última}}{\textit{Área Bruta}}$$

$$\text{Formula 2..... } f'p = \frac{\bar{f}p}{1+2.5cp}$$

$\bar{f}p$: Resistencia media a la compresión de las piezas, refiriéndose al AB (área bruta).

Cp : Coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las piezas, no debe ser menor que 0.1.

$f'p$: Resistencia a compresión de la pieza.

Cuando no se cuenta con un número de ensayos requerido, Cp será de 0.2 para plantas mecanizadas con control de calidad, 0.3 para plantas mecanizadas que no cuenten con control de calidad y 0.35 para plantas de producción artesanal, en la tabla 7 se muestran las resistencias a compresión mínimas requeridas dependiendo del tipo de material con que estén fabricados los bloques, tabiques o tabicones⁶¹.

⁶⁰ MIE. (2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

⁶¹ NMX-C-036-ONNCCE-. (2013). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – MAMPOSTERÍA – RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES Y ADOQUINES – MÉTODO DE ENSAYO. ONNCCE, S. C., MMXIII.

Tabla 7. Tipos de materiales y resistencia a compresión

Tipo de pieza y material	f'_p MPa(kg/cm ²)	$f_{\bar{p}}$ MPa(kg/cm ²)
Tabique macizo de arcilla artesanal	6(60)	9(90)
Tabique macizo o multiperforado de arcilla o de concreto	10(100)	15(150)
Tabique hueco de arcilla o de concreto	6(60)	9(90)
Bloque macizo o multiperforado de arcilla o de concreto	10(100)	15(150)
Bloque hueco de arcilla o de concreto	6(60)	9(90)

Fuente: NTC, 2017⁶²

La resistencia a compresión se determinará, para cada tipo de pieza, de acuerdo con el ensaye especificado en la norma NMX-C-036-ONNCCE.

“Esta Norma Mexicana establece el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión. Esta Norma Mexicana es aplicable a bloques, tabiques o ladrillos, tabicones, celosías y adoquines de fabricación nacional y de importación, que se comercialicen en territorio nacional⁶³ (www.onncce.org.mx,2020)”.

2.9 Prueba de resistencia a compresión en los bloques.

Para llevar a cabo la prueba de resistencia a la compresión de las piezas transcurridos los 28 días después de la fecha en la cual fueron elaborados los especímenes, fue necesario pesar, medir (ancho, largo y alto NMX-C-404-ONNCCE⁶⁴) y etiquetar los especímenes como se muestra en la figura 26; Después de este proceso se deben cabecear los especímenes con azufre, yeso o mortero especial para elaborar el cabeceo de las piezas, confinando la cara a nivelar con madera por las cuatro caras de la parte superior e inferior de la pieza, verificando que los elementos de madera se encuentren completamente nivelados como se muestra en la figura 27.

⁶² MIE. (2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

⁶³ NMX-C-036-ONNCCE-. (2013). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – MAMPOSTERÍA – RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES Y ADOQUINES – MÉTODO DE ENSAYO. ONNCCE, S. C., MMXIII.

⁶⁴ MMX-C-404-ONNCCE-. (2012). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA/BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES PARA USO ESTRUCTURALESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C.,MMXII



Figura 26. Pesaje, medida e identificación de la pieza (Fuente propia).



Figura 27. Confinado y cabeceo de la pieza (Fuente propia).

Los bloques a ensayar se deben alinear perfectamente de tal manera que la aplicación de la carga sea de manera uniforme con el centro de la pieza a ensayar y el pistón de aplicación de la carga como se muestra en la figura 28 y 29. El espécimen a ensayar deberá tener dos placas metálicas una en la parte inferior y otra en la parte superior que ayuden a distribuir de mejor manera la aplicación de la carga⁶⁵, dicha prueba fue llevada a cabo en el laboratorio de Industrial Bloquera Mexicana S.A de C.V. como se ve en la figura 30 (NMX-036-ONNCCE-2013).



Figura 28. Alineado de los bloques de acero (Fuente propia).



Figura 29. Colocación y alineado del bloque en la maquina universal (Fuente propia).

⁶⁵ NMX-C-036-ONNCCE-. (2013). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – MAMPOSTERÍA – RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES Y ADOQUINES – MÉTODO DE ENSAYO. ONNCCE, S. C., MMXIII



Figura 30. Prueba a compresión del bloque de concreto elaborado con residuo de construcción de la Ciudad de México (Fuente propia).

Los materiales para la elaboración de la prueba son los siguientes:

- Azufre o mortero el cual deberá tener una resistencia de 350 kg/cm^2 o no ser menor que la resistencia de los especímenes a ensayar, la resistencia del material que se utilice para cabecear las piezas se puede determinar mediante el ensaye de tres cubos ensayados a compresión.
- Esmeriladora para remover imperfecciones de la cara cabeceada y poder lograr que las caras sean lo más uniformes posibles.
- Regla recta rígida de dimensiones iguales a la cara a cabecear y calibradores de laminillas de 0.05 milímetros.
- Máquina de ensayo a compresión o universal de capacidad suficiente y una velocidad de aplicación de carga uniforme y continua que no produzca impacto ni pérdida de carga con un intervalo de intensidad de $(0.137 \text{ MPa/s a } 0.343 \text{ MPa/s})^{66}$ ($84 \text{ kg/cm}^2 / \text{min a } 210 \text{ kg/cm}^2 / \text{min}$); Se deberá aplicar una mayor velocidad en la primera mitad de la carga máxima que se espera y la segunda mitad deberá mantener una velocidad constante aplicada en un intervalo de tiempo mayor que un minuto, pero menor que dos minutos, para el caso que la máquina tenga una sola velocidad de aplicación de carga. La máquina deberá estar

⁶⁶ Aplicación de la carga en mega pascales por segundo.

compuesta de dos bloques de acero sólidas de dimensiones similares a la aplicación de la carga como se puede ver en la figura 31, uno de dichos bloques deberá tener un asiento semiesférico y otro bloque rígido sobre el cual descansa, el apoyo inferior debe ser una platina la cual puede ser desmontable, en caso que sea desmontable esta deberá ser 3% mayor a los especímenes de su base, si el espécimen de apoyo se usa para centrar el bloque de ensayo deberá de centrarse con la parte superior de la esfera y cuidar que la placa no se deslice, el centro de la esfera debe coincidir con el centro de aplicación de la carga; Para la verificación de la carga la máquina deberá de tener una precisión de más menos 3% del total de la carga aplicada.



Figura 31. Aplicación y registro de la carga última (Fuente propia).

- Placa cabeceadora metálica, de 1.85 cm de espesor, la cual deberá estar compuesta de dos fronteras fijas y dos desmontables, formando un rectángulo del tamaño de la cara del bloque que se va a ensayar a compresión, los perfiles que forman la frontera son de un de 1.2 cm x 1.2 cm en su sección transversal, también se debe contar con una escuadra diseñada especialmente para cada tipo de medida de bloque, la placa cabeceadora deberá

estar libre de ranuras o depresiones mayores que 0.025 mm de profundidad en un área geométrica de 560 cm² y no debe apartarse de su plano en más de 0.05 mm en 150 mm; Se debe emplear también barras guía y niveles de burbuja de manera que ninguna placa se aparte de la perpendicularidad de eje del espécimen en 1 mm vertical en 100 mm horizontales.

2.10 Absorción inicial del bloque.

La finalidad de la prueba de absorción inicial es determinar la cantidad de agua que absorbe un bloque de concreto en su superficie, durante un tiempo de 10 minutos, donde el agua lo cubra por encima de la base de apoyo 5 mm, manteniendo el nivel de agua constante en el recipiente, expresado por un coeficiente de absorción⁶⁷, (NMX-C-037-ONNCCE-2013).

En el desarrollo de la prueba se pesaron tres bloques secos, que serían utilizados para la prueba los bloques se etiquetan y se pesan como se puede ver en la figura 32, se introducen los apoyos metálicos en el recipiente rectangular cuyo largo por ancho no deberá ser menor a un área de 1936 cm², dichos apoyos deberán tener entre 12.7 cm y 15.3 cm, su altura deberá ser de 6 mm en su sección transversal, la posición de los apoyos metálicos deberá ser ajustada de acuerdo con las medidas del bloque con el que se llevara a cabo la prueba como se ve en la figura 33.



Figura 32. Pesado del bloque seco
(Fuente propia)



Figura 33. Colocación de los soportes en el
recipiente (Fuente propia).

⁶⁷ NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII.

Colocados los apoyos en el recipiente se deberá llenar con agua potable de tal manera que el nivel del agua en el recipiente quede 5 mm por encima del nivel de los apoyos metálicos, se introduce el bloque descansándolo en los apoyos metálicos, de tal manera que el bloque de concreto quede sumergido 5 mm bajo el nivel del agua manteniendo dicho nivel constante añadiendo agua al recipiente como se ve en la figura 34; Transcurridos 10 minutos se extrae del agua el bloque y se seca con un trapo húmedo el exceso de agua, la operación de secado deberá realizarse en un tiempo no mayor que 15 segundos⁶⁸, como se muestra en la figura 35.



Figura 34. Colocación del bloque 10 minutos en el agua (Fuente propia).



Figura 35. Secado (Fuente propia).

Posteriormente se pesa el bloque húmedo dicha operación deberá realizarse en un tiempo no mayor que 2 minutos como se ve en la figura 36, los porcentajes de absorción inicial para muros interiores y exteriores requeridos por la norma⁶⁹ NMX-C-441-ONNCCE-2013 se pueden ver en la tabla 8. El cálculo de la absorción inicial del espécimen se obtiene con la siguiente expresión:

$$\text{Formula 3..... } Cb = \frac{(Ph - Ps)}{S\sqrt{10}} \times 100$$

Cb: Absorción máxima inicial en gramos/minuto.

Ph: peso del espécimen húmedo en gramos.

Ps: Peso del espécimen seco en gramos.

S: Área del espécimen en cm²

⁶⁸NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII.

⁶⁹ NMX-C-441-ONNCCE-. (2013). Industria de la Construcción – Mampostería- Bloques, Tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural- especificaciones y métodos de ensayo. ONNCCE, S.C.

Tabla 8. Valores máximos de absorción inicial

Material	Absorción inicial para muros expuestos al exterior (g/min)	Absorción inicial para muro interiores o con recubrimiento (g/min)
Concreto	5	7.5
Arcilla artesanal	-	-
Arcilla extruida o prensada	5	7.5

Fuente: NMX-C-441-ONNCCE-2013⁷⁰.



Figura 36. Pesado del bloque húmedo (Fuente propia).

2.11 Absorción total del bloque en 24 horas

La finalidad de la prueba de absorción total es determinar la cantidad de litros de agua absorbida por un bloque durante un periodo de 24 horas, el cual incluye todo aquel volumen que es absorbido por los poros del bloque sin embargo excluye el de sus celdas para el caso de los bloques huecos o multiperforados, la prueba se realiza después de los 28 días de fabricado el espécimen⁷¹ (NMX-C-037-ONNCCE-2013).

En el desarrollo de la prueba se pesaron los cinco bloques secos en condiciones naturales, que serían utilizados para la prueba como se muestra en la figura 37, posteriormente los bloques se sumergen en agua durante un periodo de 24 horas a una temperatura de 17-23°C como se ve en la figura 38.

⁷⁰ NMX-C-441-ONNCCE-. (2013). Industria de la Construcción – Mampostería- Bloques, Tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural- especificaciones y métodos de ensayo. ONNCCE, S.C.

⁷¹ NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII.



Figura 37. Pesado del bloque seco (Fuente propia).



Figura 38. Saturación de los bloques durante un periodo de 24 horas (Fuente propia).

Transcurrido ese tiempo se extrae el bloque y se seca con un paño absorbente como muestra la figura 39, la masa del espécimen saturado superficialmente seco se obtiene pesando el espécimen después de secado en la báscula como lo muestra la figura 40. La absorción final del espécimen se obtiene con la siguiente expresión⁷².

$$\text{Formula 4..... } A = \frac{MSSS - M_s}{M_s} \times 100$$

A: Volumen de agua absorbido.

M_s: Masa seca del espécimen, en kilogramos.

MSSS: es la masa saturada superficialmente seca del espécimen, en kilogramos.



Figura 39. Secado del bloque con el paño absorbente (Fuente propia).



Figura 40. Obtención del peso húmedo (Fuente propia).

⁷² NMX-C-037-ONNCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCE, S.C., MMXIII.

Posteriormente para obtener la masa del espécimen sumergido, consiste en atar el bloque con un alambre de masa menor que 0.5% de la masa del espécimen, de manera que este no tenga contacto físico con el fondo del recipiente o con las paredes del mismo el extremo del lazo o el nailon con el que se ata el bloque se amarra al extremo de una balanza⁷³ como se ve en la figura 41.



Figura 41. Obtención de la masa del espécimen sumergido (Fuente propia).

2.12 Mortero utilizado en la elaboración de las muestras y modelos de ensaye

La norma (NMX-C-486-ONNCCE-2014) nos define que el mortero es un material conformado por arena, agua, cemento y algún aditivo adicional que permita una mejor trabajabilidad de la mezcla, el mortero puede a su vez estar conformado por uno o más cementantes, la mezcla de los agregados que en conjunto se mezclan para formar el mortero tiene la capacidad de fraguar y endurecerse⁷⁴.

⁷³ NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII.

⁷⁴ MX-C-486-ONNCCE-2014. (2014). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA MORTERO PARA USO ESTRUCTURAL-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C., MMXIV.

2.12.1 Mortero

El mortero es una mezcla de agregado fino, generalmente arena y uno o varios aglutinantes y agua; Como aglutinantes se pueden emplear cemento, cemento blanco y/o calhidra⁷⁵ (SMIE, 2020).

Los morteros a su vez pueden ser fabricados en obra dosificado en volumen y fabricado con medios manuales o mecánicos, o puede ser de uso industrializado que es aquel que se realiza en plantas industrializadas que producen mortero en masa, mezclado por medios mecánicos; El mortero producido puede ser en estado seco o fresco de larga duración, el proceso industrializado asegura que los materiales producidos cumplan de manera más rigurosa con la calidad que establecen las normas⁷⁶, (NMX-C-486-ONNCCE-2014).

Los morteros se dividen en morteros con los cuales se pegan las piezas de mampostería y morteros de relleno; Esta primera clasificación se subdivide en morteros tipo I, los cuales tienen una resistencia mayor o igual que 12.5 MPa (125 kg/cm²) y los morteros tipo II, cuya resistencia deberá ser mayor o igual que 7.5 MPa (75 kg/cm²), hablando específicamente de mampostería (NTC, 2017). Por otro lado, la norma, (NMX-C-486-ONNCCE-2014) define al mortero como el material que se emplea para adherir piezas de mampostería entre sí.

La mezcla de mortero para pega de piezas debe cumplir con los requerimientos mínimos que establece, NTC, 2017 en el apartado de mampostería. Se debe elaborar con cemento de albañilería, cal hidratada, agregados pétreos y agua de mezclado, deberá a la vez alcanzar una resistencia mínima a compresión de 7.5 MPa (75 kg/cm²), se deberá elaborar con cemento hidráulico Portland en las cantidades mínimas establecidas, el contenido de arena de la mezcla no deberá ser mayor a 3 veces el cementante y se deberá medir en estado suelto como lo muestran las figuras 42, 43 y 44, el agua utilizada será la mínima que dé como resultado una mezcla de mortero trabajable, el porcentaje de retención de agua del mortero debe ser mínimo del 75% y su contenido de aire máximo de 18%. Las

⁷⁵ SMIE. A.C (2020). Edificaciones de mampostería. LIMUSA.

⁷⁶ MX-C-486-ONNCCE-2014. (2014). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA MORTERO PARA USO ESTRUCTURAL-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C., MMXIV.

normas técnicas complementarias establecen las siguientes recomendaciones de proporcionamiento en volumen para la dosificación de mortero en obra como se indica en tabla 9, (NTC, 2017⁷⁷).

Tabla 9. Dosificación para morteros

Tipo de mortero	Partes de cemento hidráulico	Partes de cemento de albañilería.	Partes de cal hidratada	Partes de arena.
I	1	-	0 a 1/4	3
	1	½	-	4 ½
II	1	-	0 a 1/4	4 ½
	1	1	-	6

Fuente: NTC, 2017.



Figura 42. Pesaje de arena RDC⁷⁸ y MB⁷⁹ 3 kg (Fuente propia).



Figura 43. Pesaje del cemento 1 kg (Fuente propia).

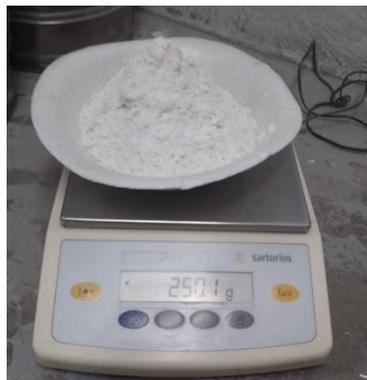


Figura 44. Pesaje de la cal 0.25 kg (Fuente propia).

⁷⁷ MIE. (2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

⁷⁸ Residuo de Demolición y Construcción.

⁷⁹ Material de Banco.

Los morteros también pueden ser de relleno y concreto de relleno, estos se emplean en elementos que conforman la estructura de mampostería para rellenar las celdas huecas en las piezas utilizadas para construir los muros o elementos de mampostería, la absorción y el revenimiento del mortero de pega y relleno se indican en la tabla 10 (NTC, 2017⁸⁰).

Tabla 10. Revenimiento para morteros en relación con la absorción del bloque, Tolerancia ± 30 mm

Absorción de la pieza %	Revenimiento para mortero de pega en (mm)	Revenimiento para mortero de relleno en (mm)
Menor a 10	160	150
10 a 15	160	175
15 a 23	160	200

Fuente: NMX-C-486-ONNCCE-2014⁸¹

2.12.2 Resistencia a la compresión de las muestras de mortero.

El ensaye a compresión del mortero debe constar de tres muestras cubicas (cubos de 5 cm por lado) curadas, la edad mínima con la cual deben ser ensayados deberá ser de 28 días. En caso de morteros de relleno se permite el llenado de probetas cilíndricas para su ensaye, la resistencia a compresión del mortero tipo I, II y III se indica en la tabla 11 (NMX-C-061-ONNCCE- 2015⁸²).

Tabla 11. Resistencia compresión de los tipos de mortero

Tipo de mortero	Resistencia promedio a compresión f_j MPa- kg/cm ²	Resistencia individual mínima a la compresión f_j^* MPa-kg/cm ²
Tipo I	18(180)	12.5(125)
Tipo II	11(110)	7.5(75)
Tipo III	6.0(60)	4.0(40)

Fuente: NMX-C-486-ONNCCE-2014

⁸⁰ MIE. (2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

⁸¹ MX-C-486-ONNCCE-2014. (2014). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA MORTERO PARA USO ESTRUCTURAL-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C., MMXIV.

⁸² NMX-C-061-ONNCCE-. (2015). Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cementantes Hidráulicos. ONNCCE, S.C., MM.

La resistencia a compresión del mortero con fines de diseño f_j^* se obtiene con la siguiente expresión:

$$\text{Formula 5..... } f_j^* = \frac{f_j}{1+2.5c_j}$$

f_j : Resistencia promedio de 3 cubos.

f_j^* : Resistencia a compresión para fines de diseño.

c_j : Coeficiente de variación de resistencia a compresión, no debe ser menor a 0.2

El muestreo de mortero realizado por algún laboratorio acreditado deberá cumplir con lo, siguiente Tabla 12 (NMX-C-486-ONNCCE-2014).

Tabla 12. Frecuencia de muestreo del mortero elaborado en obra.

Mortero elaborado en obra	
Requisito	Muestreo en obra
Resistencia a compresión	Una muestra por cada 500 kg de cementantes
Fluidez	No aplica
Revenimiento	Una muestra por cada 500 kg de cementantes utilizados
Retención de agua	No aplica
Contenido de aire	No aplica

Fuente: NMX-C-486-ONNCCE-2014⁸³

La elaboración de cubos de mortero se trabajó con proporciones de cemento 1, cal ¼, arena 3, realizando el mezclado en seco de materiales como se ve en la figura 45, posteriormente se agrega la mezcla y el agua en el equipo de mezclado durante 1 minuto de mezclado por 1.5 minutos de descanso mezclando por 1 minuto final como se muestra en la figura 46 (NMX-C-085-ONNCCE-2015⁸⁴).

⁸³ MX-C-486-ONNCCE-2014. (2014). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA MORTERO PARA USO ESTRUCTURAL-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C., MMXIV.

⁸⁴ NMX-C-085-ONNCCE-. (2015). Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos – determinación estándar para el mezclado de pastas y morteros de cementantes hidráulicos. ONNCCE, S.C., MM.



Figura 45. Mezclado en seco del mortero NMX-C-085-ONNCCE-2015⁸⁵ (Fuente propia).



Figura 46. Mezclado de los agregados NMX-C-085-ONNCCE-015 (Fuente propia).

Se elaboraron 3 cubos de mortero de cada mezcla llenado los moldes en 3 capas compactadas concéntricamente enrasando los cubos como lo muestran las figuras 47 y 48 (NMX-C-061-ONNCCE- 2015).



Figura 47. Llenado de moldes con el mortero NMX-C-061-ONNCCE- 2015 (Fuente propia).



Figura 48. Enrase de los moldes NMX-C-061-ONNCCE- 2015⁸⁶ (Fuente propia).

⁸⁵ NMX-C-085-ONNCCE-. (2015). Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos – determinación estándar para el mezclado de pastas y morteros de cementantes hidráulicos. ONNCCE, S.C., MM.

⁸⁶ NMX-C-061-ONNCCE-. (2015). Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cementantes Hidráulicos. ONNCCE, S.C., MM.

En la figura 49 se muestra los cubos en el cuarto de curado, en el cual se conservan por un mínimo de 28 días a temperatura regulada (NMX-C-148-ONNCCE-010⁸⁷), en la figura 50 se ve el ensaye a compresión de los cubos de mortero.



Figura 49. Identificación y curado de especímenes NMX-C-148-ONNCCE-010 (Fuente propia).



Figura 50. Aplicación y registro de la carga (Fuente propia).

2.12.3 Fluidéz inicial del mortero para pega con RDC (Residuo de construcción) y MB (material de banco).

La prueba de la fluidez en un mortero se lleva a cabo para determinar la consistencia de un mortero, de tal manera que el contenido de agua que este contenga sea el mínimo necesario para que la mezcla del mortero sea lo suficientemente fluida; También permite medir la trabajabilidad y plasticidad de una mezcla de mortero de pega o de relleno, la prueba consiste en obtener el porcentaje que aumenta el diámetro original de un cono de mortero formado por un molde en una mesa de fluidez como se ve en las figuras 51, 52, 53 y 54 el cual se obtiene midiendo el diámetro de mortero disperso después de 25 caídas en la mesa como se observa en la figura 55 y 56; El porcentaje de fluidez del mortero de pega debe estar entre el 105% y 130% NMX-C-144-ONNCCE-2015⁸⁸.

⁸⁷ NMX-C-148-ONNCCE-. (2010). Industria de la Construcción - Cementos y Concretos Hidráulicos - Gabinetes, Cuartos Húmedos y Tanques de Almacenamiento - Condiciones de Diseño y Operación. ONNCCE, S.C., MM.

⁸⁸ NMX-C-144-ONNCCE-. (2015). Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Requisitos para el Aparato usado en la Determinación de la Fluidéz de Morteros. ONNCCE, S.C., MM.

Para obtener la fluidez del mortero se mezclan los agregados del mortero tipo I en proporción de 3:1:1/4, se centra el cono de bronce en la mesa de fluidez llenado, compactado con 20 golpes concéntricos en un total de 2 capas como se ve en las figuras 51 y 52.



Figura 51. Elaboración del mortero tipo I con proporción 3:1:1/4, de las 3 mezclas trabajadas (Fuente propia).



Figura 52. Centrado del cono en la mesa y llenado, compactado con 20 golpes concéntricos en un total de 2 capas (Fuente propia).

Posteriormente se enrasa el mortero excedente del cono de bronce y se retira el molde de bronce como se muestra en la figura 53 y 54.



Figura 53. Enrase del molde (Fuente propia).

Figura 54. Retiro del molde (Fuente propia).



Figura 55. Aplicación de 25 golpes (Fuente propia).



Figura 56. Medición del mortero después de la aplicación de los 25 golpes (Fuente propia).

2.12.4 Fluidéz de succión del mortero (Retención de agua del mortero) para pega con RDC (Residuo de construcción) y MB (material de banco).

Es la capacidad que tiene un mortero de retener agua, sometiéndolo a la acción de succión de piezas de mampostería absorbentes; Si un mortero tiene baja capacidad de retención de agua tendrá como consecuencia la mala adherencia con las piezas que conformaran el elemento de mampostería.

La retención de agua se obtiene de la relación entre la fluidéz inicial y la fluidéz final después del proceso de succión de vacío, la prueba consiste en una succión de agua controlada por manómetro, el cual está conectado a un embudo sobre el cual se coloca un disco perforado.

La unión del disco con el embudo debe estar sellado con grasa, en el fondo del disco debe colocarse un sello de papel endurecido de manera que cubra completamente el disco como se ve en la figura 57, se llena el disco de bronce con mortero compactando en 2 capas como se muestra en la figura 58.



Figura 57. Colocación del disco y sello de papel en el embudo cubierto de grasa (Fuente propia).



Figura 58. Colocación y compactado del mortero en el disco (Fuente propia).

En la figura 59 se muestra el enrase del mortero en el disco de bronce, con el enrasador dejando la superficie plana sin orificios, se aplica succión al disco por un periodo de tiempo de 8 minutos como se muestra en la figura 60.



Figura 59. Enrase del molde disco (Fuente propia).



Figura 60. Aplicación de la succión de vacío (Fuente propia).

Después de aplicada la succión de vacío se retira con una espátula el mortero del disco de succión como se muestra en la figura 61, con el mortero de la prueba de succión se rellena el cono de bronce previamente centrado en la mesa de fluidez como lo muestra la figura 62.



Figura 61. Retiro del mortero después de la succión de vacío (Fuente propia).

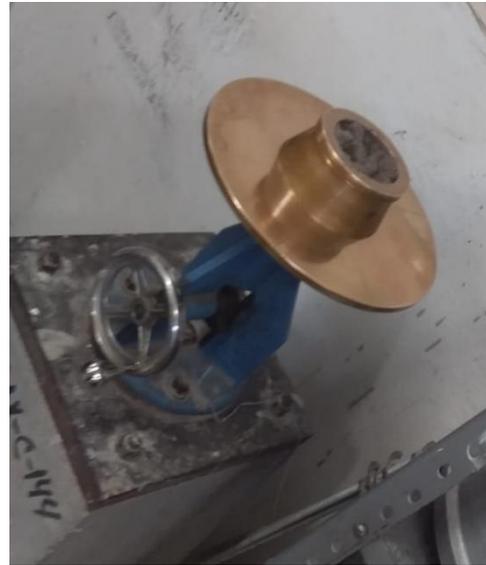


Figura 62. Colocación del mortero en el cono, enrase y aplicación de los 25 golpes (Fuente propia).

Se enrasa el cono sin agregar material extra (se trabaja con la misma cantidad de mortero de la muestra ensayada, se aplican 25 golpes a la mesa de fluidez y se toma lectura del mortero como se observa en la figura 63.



Figura 63. Toma de las lecturas del mortero (Fuente propia).

Rendimiento del mortero para pega con RDC⁸⁹ (Residuo de construcción) y MB⁹⁰ (material de banco).

El rendimiento del mortero se determina pesando un kilogramo de la mezcla de mortero en seco como se lo muestra la figura 64, midiendo en una probeta 1 litro de agua, vertiendo la mezcla de mortero en una charola y mezclando y agregando agua hasta obtener una consistencia óptima (que no sea muy fluida o dura) para pegar bloques como se ve en la figura 65.



Figura 64. Pesaje de una muestra de 1 kg de mortero (Fuente propia).



Figura 65. Mezclado de la muestra agregando agua (Fuente propia).

posteriormente se vierte toda la mezcla del kilogramo de mortero en un recipiente graduado para obtener el rendimiento en litros del mortero de pega y obteniendo también el consumo de agua como lo muestran las figuras 66 y 67.



Figura 66. Llenado del vaso de precipitados (Fuente propia).



Figura 67. Rendimiento y consumo de agua por un kilo de mortero (Fuente propia).

⁸⁹ Residuo de Demolición y Construcción.

⁹⁰ Material de Banco.

2.12.5 Granulometría del mortero para pega con RDC Y MB.

Los agregados utilizados para la elaboración de los morteros, son materiales de naturaleza pétreo, que se pueden producir por algún proceso mecánico de trituración del material, los agregados también pueden encontrarse en la naturaleza, la arena utilizada para la elaboración del mortero ocupa gran parte del volumen total de la mezcla 70% a 85% según sea el tipo de mortero, la arena está compuesta por partículas menores que 5 milímetros, la composición de la arena se obtiene de los porcentajes retenidos en 7 mallas, cada porcentaje debe estar dentro de un rango establecido empíricamente como lo indican la tabla 13 y figura 68 (ASTM no. 100 en Márquez y Pintor, F. 2012⁹¹).

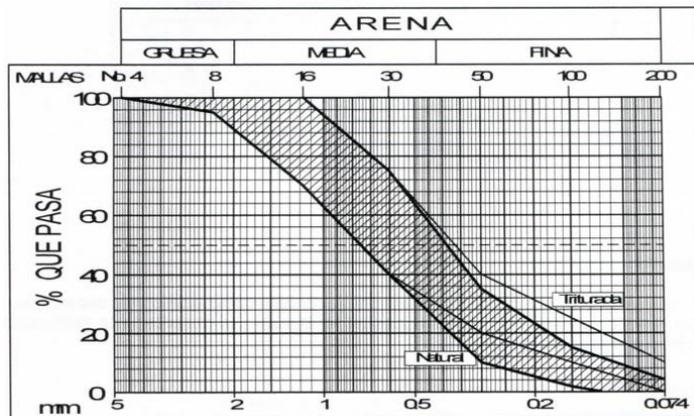


Tabla 13. granulometría a recomendada

Malla	Arena	
	Natural	Triturada
4	100	100
8	95-100	95-100
16	70-100	70-100
30	40-75	40-75
50	10-35	20-40
100	2-15	10-25
200		0-10

Figura 68. Granulometría recomendada para la arena (NMX-C-486-ONNCCE-2014⁹²).

⁹¹ MÁRQUEZ MORENO JOSÉ ROBERTO - PINTOR HIDALGO FRANCISCO JAVIER. (2012). MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO OPTIMIZANDO LA RELACIÓN AGUA – CEMENTO, GRAVA – ARENA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PARA PRODUCIR CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO. Universidad Nacional Autónoma de México.

⁹² MX-C-486-ONNCCE-2014. (2014). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA MORTERO PARA USO ESTRUCTURAL-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C., MMXIV.

Se pesa la muestra de mortero en proporción 1 cemento, 3 arena y $\frac{1}{4}$ de cal, de RDC⁹³ y MB⁹⁴ como se muestra en la figura 69.



Figura 69. Pesaje de la muestra RDC y MB (Fuente propia).

La muestra seca en el horno por un periodo de 24 horas a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ como lo muestra la figura 70



Figura 70. Secado de la muestra durante un periodo de 24 horas (Fuente propia).

⁹³ Residuo de Demolición y Construcción.

⁹⁴ Material de Banco.

Se tamiza la muestra por un periodo menor a 10 minutos en el equipo de vibración mecánica como lo muestra la figura 71.



Figura 71. Tamizado del material (Fuente propia).

Se pesan cada una de las muestras de material retenido por cada malla y se registran estos pesos como lo muestra la figura 72.



Figura 72. Pesaje del material retenido por los tamices (Fuente propia).

2.13 Elaboración de pilas y muretes

2.13.1 Elaboración y ensayo de pilas NMX-464-ONNCCE

La pila es un espécimen formado por bloques superpuestos compuesta de por lo menos 3 piezas con el número suficiente de hiladas de tal manera que la esbeltez, igual al cociente entre altura y espesor, debe ser entre dos y seis; En el caso de las pilas, es en la altura en la que se determinará la deformación unitaria; La longitud instrumentada deberá ser del 65% \pm 5% de la altura de la pila, los tornillos de sujeción se apoyarán en una pieza superior y otra inferior, a un centímetro de distancia de la junta de mortero más cercana, como se muestra en la figura 73 (NMX-C-ONNCCE-464-2010⁹⁵).

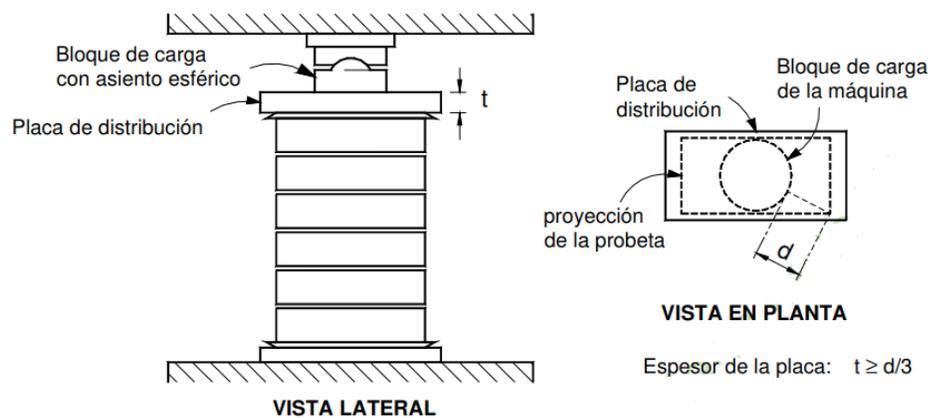


Figura 73. Colocación del espécimen en la máquina universal, (NMX-C-ONNCCE-464-2010).

Las pilas se componen principalmente de piezas mampuestas las cuales deben estar compuestas de un mínimo de 3 piezas con una relación de altura-espesor de la pila de dos a seis, dos en espesor y seis. Las pilas deberán ensayarse en un periodo no menor a 28 días a partir de su construcción, el valor de f'_m deberá obtenerse del promedio de nueve pilas ensayadas las cuales deberán estar construidas con piezas del mismo lote, (NTC, 2017⁹⁶).

⁹⁵ NMX-C-ONNCCE-464-. (2010). industria de la construcción – mampostería - determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación resistencia y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto-métodos de ensayo. ONNCCE, S.C., XI.

⁹⁶ MIE. (2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

En la figura 74 se muestra la elaboración de la pila con los especímenes y el mortero, se utiliza una niveleta para verificar la horizontalidad y verticalidad de los especímenes que conforman la pila, en la figura 75 se muestra el cabeceado de la pila, se muestran bloques por lo difícil que es manipular el pesado espécimen, la manipulación del espécimen puede generar que este se fracture, por esta razón se cabecean las piezas antes de pegarlas en la pila.



Figura 74. Elaboración de la pila con bloques (Fuente propia).



Figura 75. Cabeceado de bloques inferior y superior de la pila (Fuente propia).

En la figura 76 se muestra el espécimen colocado en la maquina universal, previo a la aplicación de la carga de compresión, posteriormente se centra el espécimen en la maquina universal y se aplica la carga hasta llevar el espécimen a la falla registrando la carga última, como lo muestra la figura 77.



Figura 76. Colocación y alineado de la pila en la maquina universal (Fuente propia).



Figura 77. Aplicación y registro de la carga ultima en la pila (Fuente propia).

Para obtener la resisten a compresión de la pila se hace uso de los valores de relación altura y espesor de la pila, en el caso que estos valores no vengan en la tabla 14 se debe interpolar con valores intermedios superiores e inferiores, como se muestra en la tabla15 para poder obtener el factor de corrección de la pila.

Tabla 14. Relaciones de altura a espesor

Factores correctivos para resistencias de pilas con diferente altura y espesor					
Relación altura espesor de la pila	2	3	4	5	6
Factor correctivo	0.75	0.90	1.00	1.05	1.06
Para relaciones intermedias se deberá interpolar					

Fuente: NTC, 2017⁹⁷

⁹⁷ MIE. (2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

Tabla 15. Interpolación lineal.

X	Y
1.06	6
0.75	2
0.688	1.2

La resistencia a compresión de la pila se debe calcular dividiendo la carga máxima entre el área bruta de la pila, el resultado obtenido se multiplica por el factor de esbeltez, como se muestra en la siguiente expresión (NMX-C-464-ONNCCE-2010⁹⁸).

Formula 6..... $fm = \frac{P}{t*b} * \text{factor correctivo de esbeltez}$

fm: Resistencia a compresión de la pila MPa(kg/cm²).

P: Carga máxima aplicada (kg)

t: Espesor de la pila (cm)

b: Ancho de la pila (cm)

El esfuerzo obtenido deberá de corregirse por los valores de la tabla anterior, la resistencia a compresión para el diseño deberá calcularse con la siguiente expresión, y deberá ser al menos el promedio de 3 pilas y se obtiene con la siguiente expresión.

Formula 7..... $f'm = \frac{f^-m}{1+2.5cm}$

f'm: Resistencia a compresión para fines de diseño.

f⁻m: Expresada como resistencia a compresión de las pilas corregida por esbeltez.

⁹⁸ NMX-C-ONNCCE-464-. (2010). industria de la construcción – mampostería - determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación resistencia y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto-métodos de ensayo. ONNCCE, S.C., XI.

C_m: Coeficiente de variación de la resistencia a compresión que en ningún caso deberá ser menor que 0.1 para elementos con control de calidad y 0.15 para otros casos.

Resistencia a la compresión de la mampostería de piezas de concreto f'_m sobre área bruta, para valores intermedios de f'_p se interpola linealmente para un mismo tipo de mortero, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Resistencia a la compresión de la mampostería de piezas de concreto

f'_p MPa(kg/cm ²)	f'_m MPa (kg/cm ²)	
	Mortero I	Mortero II
6(60)	2.5(25)	2(20)
7.5(75)	4(40)	3.5(35)
10(100)	5(50)	4.5(45)
15(150)	7.5(75)	6(60)
>20(200)	10(100)	9(90)

Fuente: NTC, 2017⁹⁹

2.13.2 Elaboración y ensaye de muretes NMX-464-ONNCCE

Un murete es un espécimen de longitud mínima de una vez y media la longitud de un bloque, el murete deberá tener el número de hiladas suficiente de manera que la base y la altura del murete deberán ser iguales con una tolerancia de +-5%, el acomodo de las piezas deberá ser igual al utilizado en la obra como se muestra en la figura 78, cuando se requiera evaluar la resistencia del refuerzo en la mampostería o cuando las características de la mampostería no se puedan representar en el tamaño de un murete, los especímenes deberán ser construidos en el laboratorio y deberán ser de al menos 2 metros de base por 2 metros de altura, las juntas de mortero en pilas y muretes deberá permitir la alineación de las piezas, el espesor de la junta debe ser de 12 mm máximo para los casos en que las piezas sean fabricadas de manera industrializada y de 15 mm máximo para piezas de fabricación artesanal, el espesor de las juntas deberá ser mínimo de 6 mm. Para el control

⁹⁹ MIE. (2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

de calidad en obra se deberán elaborar 3 pilas y 3 muertes por cada 3000 m² o fracción de muros, (NMX-C-464-ONNCCE-2010¹⁰⁰).

Cabeceo, elaboración y almacenaje de muretes: El cabeceo de los especímenes deberá realizarse con mortero, yeso o azufre de acuerdo con la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013¹⁰¹ en la figura 79 se muestra el cabeceo del murete, después de construidos los especímenes deben de almacenarse en un laboratorio donde no sean movidos por lo menos dentro de los primeros 7 días posteriores a su fabricación y deberán estar a una temperatura de 24 °C +-8 °C; En caso de elaborarse en obra los especímenes deberán estar en un lugar protegidos y a temperatura ambiente por lo menos 7 días antes de trasladarlos al lugar de ensayo, los ensayos deberán realizarse a los 28 días +-24 horas posteriores a su fabricación, se puede realizar el ensayo antes si el mortero alcanzó la resistencia esperada y si las piezas garantizan la resistencia del proyecto, (NMX-C-464-ONNCCE-2010).



Figura 78. Elaboración del murete (Fuente propia).



Figura 79. Cabeceo del murete (Fuente propia).

La resistencia a compresión diagonal de la mampostería, V_m , debe determinarse en muretes ensayados a una edad no menor que 28 días posteriores a su elaboración, deben tener una longitud mínima de una vez y media la longitud de las piezas que lo componen y las hiladas necesarias de tal manera que su altura y su longitud sean las mismas. El ensayo se realiza aplicando una carga de compresión de manera diagonal; El esfuerzo

¹⁰⁰ NMX-C-ONNCCE-464-. (2010). industria de la construcción – mampostería - determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación resistencia y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto-métodos de ensayo. ONNCCE, S.C., XI.

¹⁰¹ NMX-C-036-ONNCCE-. (2013). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – MAMPOSTERÍA – RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES Y ADOQUINES – MÉTODO DE ENSAYO. ONNCCE, S. C., MMXIII.

cortante medio será determinado dividiendo la carga máxima registrada entre el área bruta de la diagonal del murete. El cortante medio será determinado del ensaye de un mínimo de nueve muretes, elaborados con piezas de mínimo tres lotes distintos, la elaboración de cada murete deberá ser con piezas del mismo lote (NTC, 2017¹⁰²).

El equipo utilizado para la prueba a compresión en pilas y muretes es una máquina de tipo universal con capacidad de carga suficiente y con control de la velocidad de aplicación de la misma; No debe producir impactos ni pérdida de carga, la verificación de la aplicación de la carga será con un margen de error de $\pm 3\%$ de la carga que se aplique al espécimen. En el caso de los muretes la maquina tendrá que estar provista de cabezales de distribución de carga en las esquinas del murete, estos pueden ser metálicos y lo suficientemente rígidos de manera que la aplicación de la carga sea de manera uniforme, la maquina universal utilizada para el ensaye y los cabezales metálicos se pueden observar en la figura 80.



Figura 80. Colocación y alineado del murete en la maquina universal (Fuente propia).



Figura 81. Aplicación y registro de la carga última en el murete (Fuente propia).

La longitud del apoyo del cabezal no debe ser mayor que la longitud del murete entre seis ($L/6$) con una tolerancia de $\pm 5\%$, el cabezal debe abarcar la totalidad del espesor del murete, el espesor del apoyo del cabezal debe ser de 9 mm, como se ve en la figura 82.

¹⁰² MIE. (2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

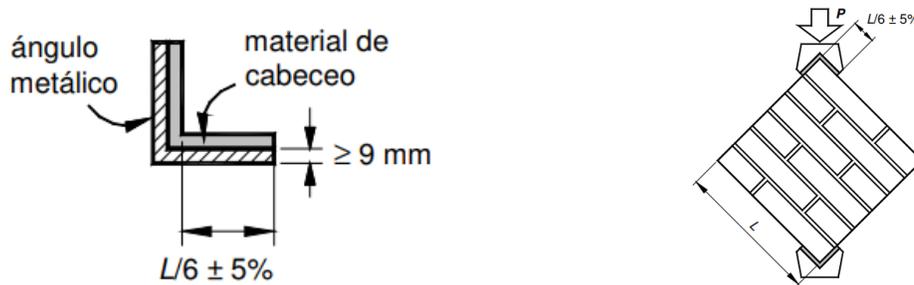


Figura 82. Colocación del murete en los cabezales (NMX-C-ONNCCE-464-2010¹⁰³).

Para obtener los módulos de cortante en muretes y módulo de elasticidad en pilas se deben utilizar dispositivos para medir deformaciones (micrómetros, extensómetros o un transformador diferencial de longitud variable) colocados en la longitud de las pilas en la diagonal o la transversal de los muretes con un margen de $\pm 5\%$ de precisión. Los dispositivos deben tener una precisión de 0.001 mm, colocados de manera que se mida el desplazamiento relativo, (NMX-C-464-ONNCCE-2010).

La carga se aplica al espécimen y se hace un registro de la carga de falla y la apariencia de la falla del murete, con esquemas o fotografías del espécimen como se observa en la figura 81; La resistencia a compresión diagonal se obtiene de la división de la carga máxima entre el área bruta del espécimen, sobre la longitud de la diagonal, lo cual se expresa con la siguiente ecuación.

V_m: Resistencia a compresión del murete MPa(kg/cm²)

P: Carga máxima aplicada (kg)

t: Espesor del murete (cm)

L_c: Longitud de la diagonal a compresión (cm)

Formula 8.....
$$V_m = \frac{P}{t \cdot L_c}$$

¹⁰³ NMX-C-ONNCCE-464-. (2010). industria de la construcción – mampostería - determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación resistencia y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto-métodos de ensayo. ONNCCE, S.C., XI

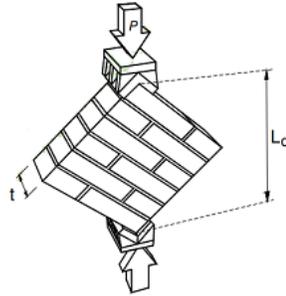


Figura 83. Variables para el cálculo de la resistencia a compresión diagonal, (NMX-C-ONNCCE-464-2010¹⁰⁴).

La resistencia a compresión diagonal para la construcción de estructuras Tipo I se podrán emplear valores de $V'm$ que se presentan en la tabla 17, el mortero deberá cumplir con las características de un mortero estructural (NTC, 2017¹⁰⁵).

Tabla 17. Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería

Tipo de pieza	$V'm$, MPa (kg/cm ²)
Tabique macizo de arcilla artesanal	0.2 (2)
Bloque de concreto	0.2 (2)
Tabique de concreto tabicón	0.2 (2)

Fuente: NTC, 2017

El cálculo de la resistencia a compresión diagonal del murete se obtiene con la siguiente expresión.

$$\text{Formula 9..... } V'm = \frac{V\bar{m}}{1+2.5cv}$$

$V'm$: Resistencia a compresión diagonal del murete (kg/cm²)

$V\bar{m}$: Resistencia media diagonal de los muretes sobre el área bruta a lo largo de la diagonal paralela a la aplicación de la carga.

cv : coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de los muretes, este valor no deberá ser menor que 0.2

¹⁰⁴ NMX-C-ONNCCE-464-. (2010). industria de la construcción – mampostería - determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación resistencia y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto-métodos de ensayo. ONNCCE, S.C., XI.

¹⁰⁵ MIE. (2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

CAPÍTULO 3 Resultados de la primera etapa experimental

3.1 Análisis granulométrico de los agregados para la fabricación de los bloques.

En la prueba granulométrica llevada a cabo en el agregado grueso de banco utilizado para la fabricación de los bloques, se obtuvieron los siguientes resultados (tabla 18), de los cuales el 60.03 % del total de la muestra fue retenido por la malla #4 y #8, el 31.04 % quedó retenido por la malla #16, concentrando la mayor cantidad de material retenido en estas 3 mallas, se obtuvo esta graduación porque no se requería la presencia de grava mayor a 1/2" en la mezcla, por las dimensiones del bloque y que no se trata de un elemento muy grande, así mismo podemos ver en la gráfica (figura 84) de la grava está por encima del límite superior con un mayor contenido de finos.

Tabla 18. Análisis granulométrico de la grava de banco

Gravilla MB-Peso muestra 700 gr-Peso seco 683 gr				
# Malla	Abertura (mm)	Retenido (gr)	% Retenido	% Acumulado
1/2"	12.5	0	0	0
3/8"	9.50	0	0	0
4	4.75	47	6.88	6.88
8	2.36	363	53.15	60.03
16	1.18	212	31.04	91.07
50	0.30	47	6.88	97.95
Charola	-	14	2.05	100.00
Total	-	683	100	2.56

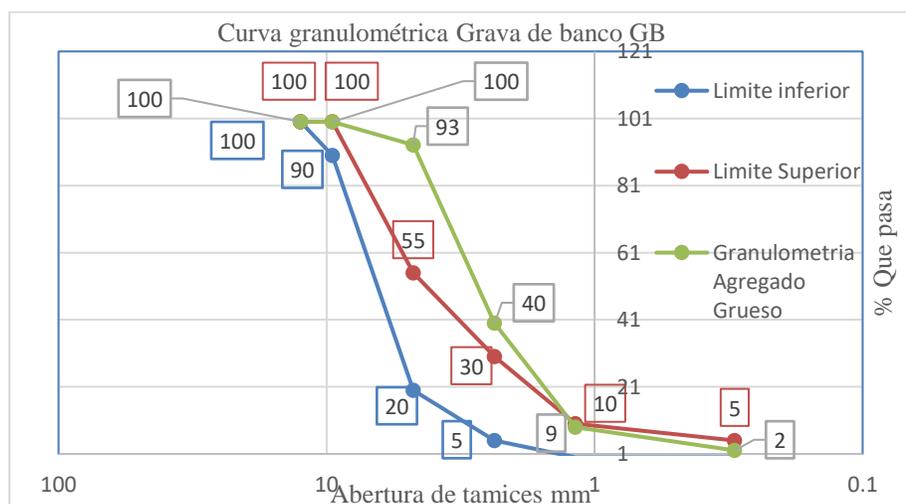


Figura 84. Curva granulométrica de la Grava de banco (Fuente propia).

El análisis granulométrico (tabla 19) de la grava de residuo de construcción se concentra en la malla de 3/8" con un 54 % y en la malla del #4 la cual retiene casi 46 %, esto se debe a que se trabajó con material triturado de un banco de RDC¹⁰⁶ en el cual en su mayoría estaba compuesto por grava de 3/8" controlada por un proceso de trituración y cribado, se seleccionó este agregado por que los bloques son de dimensiones pequeñas, en específico de 38 cm x 18 cm x 12 cm de ancho, quedando la gráfica por debajo de la curva de límite inferior, con un alto porcentaje de gruesos de un solo tamaño como se observa en la figura 85.

Tabla 19. Análisis Granulométrico de la grava RDC

Grava RDC-Peso muestra 700 gr-Peso seco 684 gr				
# Malla	Abertura (mm)	Retenido (gr)	% Retenido	% Acumulado
1/2"	12.5	0	0	0
3/8"	9.50	366	54	54
4	4.75	312	46	99.12
8	2.36	2	0.3	99.42
16	1.18	2	0.3	99.71
50	0.30	1	0.1	99.85
Charola	-	1	0.1	100
Total	-	684	100	4.52

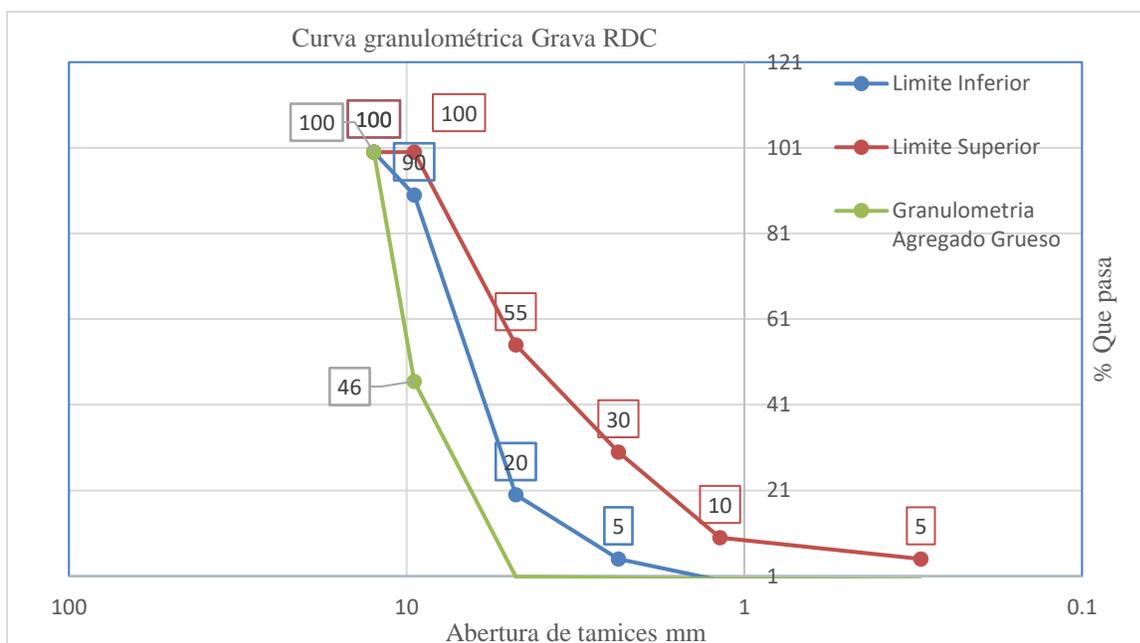


Figura 85. Gráfica de curva granulométrica de la Grava RDC (Fuente propia).

¹⁰⁶ Residuo de Demolición y construcción.

El análisis granulométrico (tabla 20) del agregado fino de residuo de construcción (arena RDC¹⁰⁷) indica que la gráfica se comporta más como una recta, con una buena graduación y un buen porcentaje de gruesos y finos, teniendo un porcentaje de 10.36 % por debajo del límite inferior donde se encuentran los gruesos en el tamiz del # 8 y con tan solo un 4.58 % por encima del 10 % en donde se encuentra el límite superior de finos en el tamiz del # 100 como se ve en la figura 86.

Tabla 20. Análisis granulométrico de la arena para poder determinar su módulo de finura.

Arena RDC-Peso muestra 700 gr-Peso seco 686 gr				
# Malla	Abertura (mm)	Retenido (gr)	% Retenido	% Acumulado
3/8"	9.50	0	0	0
4	4.75	38	5.54	5.54
8	2.36	136	19.83	25.36
16	1.18	119	17.35	42.71
30	0.60	100	14.58	57.29
50	0.30	99	14.43	71.72
100	0.15	94	13.70	85.42
Charola	-	100	14.58	100
Total	-	686	100	2.88

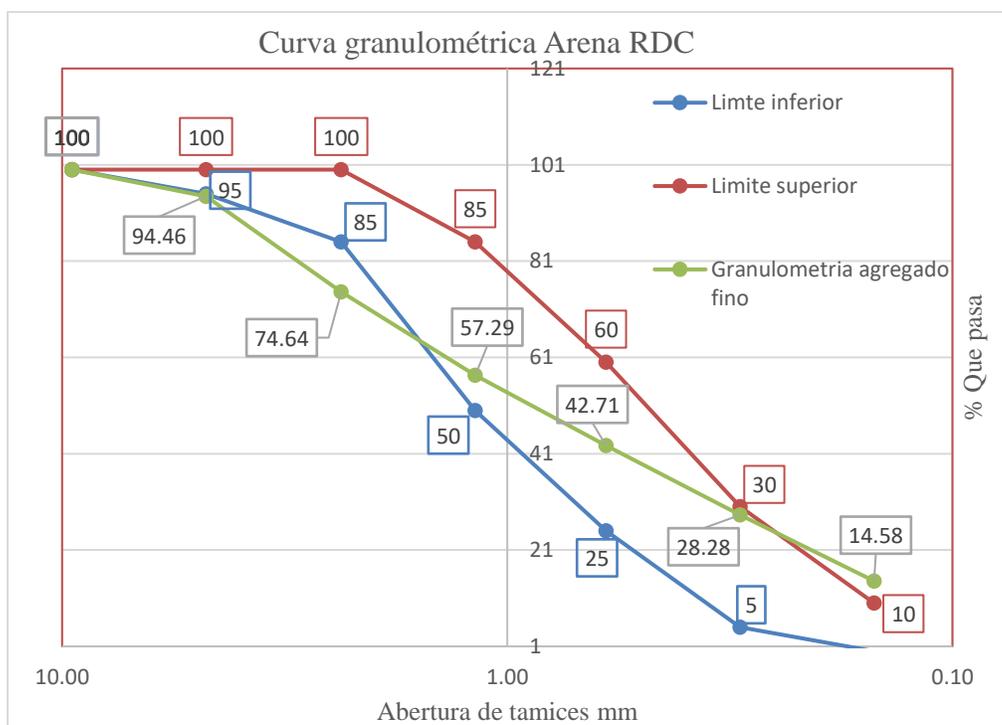


Figura 86. Gráfica de curva granulométrica de la arena RDC (Fuente propia).

¹⁰⁷ Residuo de Demolición y Construcción.

En el ensayo de granulometría (tabla 21) de la arena de banco se obtuvo un comportamiento similar al de la gráfica de la arena RDC¹⁰⁸, ya que se obtuvieron valores muy similares en ambos ensayos, con valores por debajo del límite inferior en 75% en la malla del #8 y con valores en límite superior de 13.96 % en finos, lo que indica una buena graduación de la arena, sin embargo, se debe obtener una gráfica que no salga de los límites superior e inferior para que la arena este bien graduada como se observa en la figura 87.

Tabla 21. Análisis granulométrico de la arena de banco, tamizado

Arena de banco (SB)-Peso muestra 700 gr-Peso seco 695 gr				
# Malla	Abertura (mm)	Retenido (gr)	% Retenido	% Acumulado
3/8"	9.50	0	0	0
4	4.75	19	2.73	2.73
8	2.36	145	20.86	23.60
16	1.18	181	26.04	49.64
30	0.60	123	17.70	67.34
50	0.30	79	11.37	78.71
100	0.15	51	7.34	86.04
charola	-	97	13.96	100
Total	-	695	100	3.08

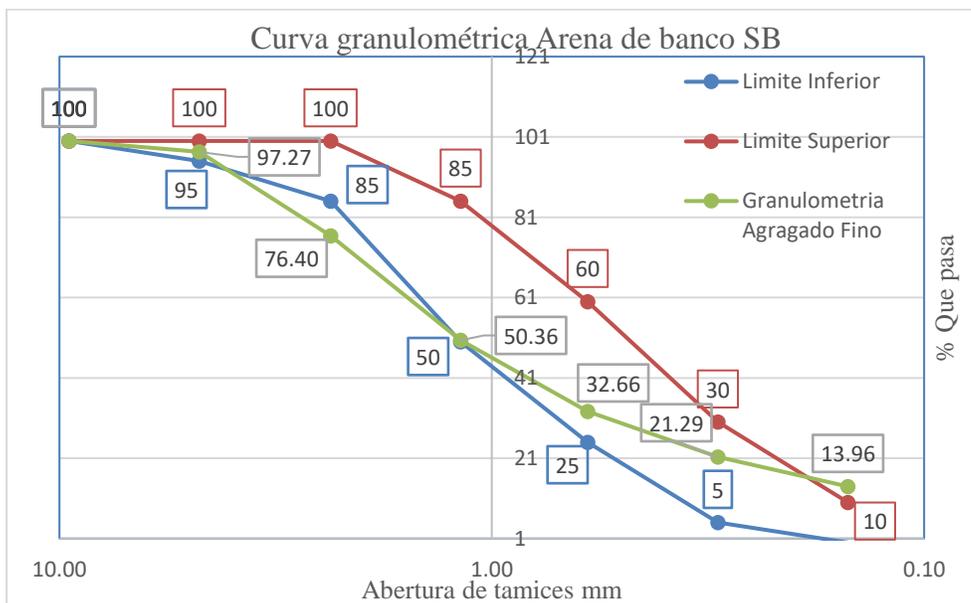


Figura 87. Gráfica de curva granulométrica de la arena de banco (Fuente propia).

¹⁰⁸ Residuo de Demolición y Construcción.

La finalidad de las pruebas de granulometría en los agregados utilizados en la fabricación de los bloques es conocer los tamaños de agregados que componen el agregado fino y grueso, un alto grado de finos y gruesos en la mezcla de concreto requiere de mayor cantidad de cemento para alcanzar la resistencia de la mezcla, lo que incrementa el costo de fabricación.

3.2 Mezcla 1 resistencia a compresión estimada 100 kg/cm² por pieza.

Para la mezcla 1, con resistencia a compresión de 100 kg/cm², se ensayaron y registraron los datos de cinco especímenes con dimensiones, peso, área bruta y carga última aplicada como se ve en la tabla 22; Este mismo registro se llevó a cabo para las 3 mezclas trabajadas en la primera etapa experimental.

Tabla 22. Descripción de los bloques ensayados, mezcla 1, (medidas y carga última).

Fecha de fabricación del bloque 3/nov/2020- Fecha de ensaye a compresión 15/dic/2020												
Especímen	Peso (kg)	NMX-C-038-ONNCCE-2013 ¹⁰⁹									Área (L x A =cm ²)	Carga Última (kgf)
		Largo (cm)			Alto (cm)			Ancho (cm)				
		Medición			Medición			Medición				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Esp-1-100	14.005	38.2	38.2	38.2	17.5	18	18	12	12	12	456	55200
Esp-2-100	14.485	38.2	38	38	17.5	18	17.5	12	12	12	456	36760
Esp-3-100	13.995	38.2	38	38	18	18	18	11.8	11.8	11.8	456	27100
Esp-4-100	14.390	38	38	38.2	17.5	17.5	17.5	11.9	11.9	11.9	456	38700
Esp-5-100	13.555	38	38	38	17.5	18	18	11.9	11.9	11.9	456	22520

Para obtener la resistencia promedio f_p de la pieza, se calcula la resistencia a compresión de la pieza dividiendo la carga última / área de la pieza; La resistencia promedio se obtiene sumando la resistencia de los 5 especímenes ensayados entre el número de especímenes, en este caso 5, el cálculo se puede ver en la tabla 23. El mismo cálculo se llevó en las 3 mezclas trabajadas, para la mezcla 1 se obtuvo una resistencia promedio f_p de 71.876 kg/cm², en la mezcla 2 se obtuvo un f_p de 94.288 kg/cm² y en la mezcla 3 un f_p de 128.92 kg/cm² en los tres casos por debajo de 150 kg/cm² la resistencia promedio f_p de las 3 mezclas trabajadas de la primera etapa se puede ver en la figura 88.

¹⁰⁹ NMX-C-038-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería – Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C.MMXIII.

Tabla 23. Cálculo de resistencia a compresión por pieza y obtención de resistencia promedio de la mezcla 1.

Espécimen	Peso (kg)	Área (cm ²)	Carga Última (Kgf)	Resistencia (kg/cm ²)
Esp-1-100	14.005	456	55200	121.1
Esp-2-100	14.485	456	36760	80.61
Esp-3-100	13.995	456	27100	59.42
Esp-4-100	14.390	456	38700	84.87
Esp-5-100	13.555	456	22520	49.38
<i>resistencia promedio</i> $\frac{\Sigma \text{resistencias}}{\# \text{ ensayes}}$			f_p	71.876

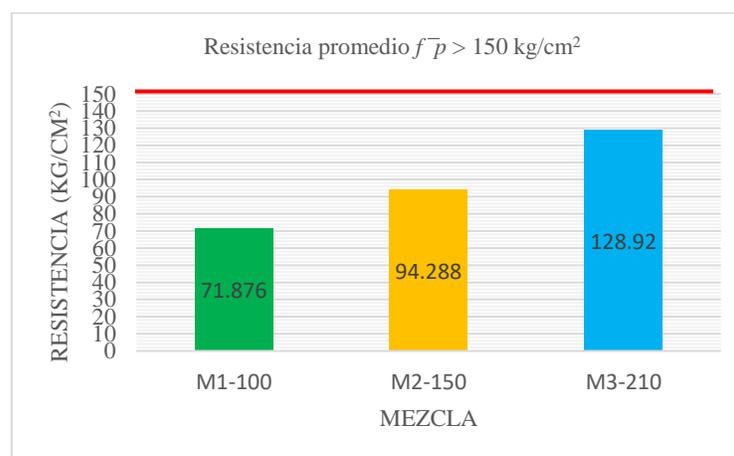


Figura 88. Gráfica de resistencia f_p de la primera etapa experimental (Fuente propia).

La resistencia a compresión de la pieza f_p se obtiene dividiendo la resistencia promedio entre la suma de uno más el producto de 2.5 por c_p en este caso c_p es de 0.3 debido a que se trata de una pieza fabricada con una planta semi-industrializada sin control de calidad, cálculo que se puede ver en la tabla 24, el mismo cálculo se llevó a cabo en las 3 mezclas trabajadas en la primera etapa experimental, resistencia a compresión estimada por pieza 100 kg/cm².

Tabla 24. Cálculo de la resistencia a compresión de la pieza, mezcla 1.

Tipo de pieza y material	f_p MPa (kg/cm ²) 10(100)	f_p MPa (kg/cm ²) 15(150)
	$f_p = \frac{f_p}{1 + 2.5c_p}$	
	$f_p = \frac{71.876 \frac{kg}{cm^2}}{1 + 2.5(0.30)} = 41.072 \frac{kg}{cm^2}$	
	cp 0.30 por ser una planta sin control de calidad	
Bloque macizo de concreto Esp-100	41.072 kg/cm ² <100 kg/cm ²	71.876 kg/cm ² <150 kg/cm ²
No pasa en ninguno de los 2 casos	Debe ser > 100 kg/cm ²	Debe ser > 150 kg/cm ²

La resistencia a compresión de la pieza y la resistencia promedio de la pieza de cada una de las tres mezclas de la primera etapa experimental, quedaron por debajo de lo que indica la norma NMX-036-ONNCCE-2013¹¹⁰ que indica que $f'p > 100 \text{ kg/cm}^2$ y $f\bar{p} > 150 \text{ kg/cm}^2$ como se puede ver en la tabla 25 y la figura 89.

Tabla 25. Resultado de las pruebas a compresión de las 3 mezclas con residuo de construcción.

Tipo de pieza y material: Boque de concreto macizo	$f'p \text{ MPa (kg/cm}^2)$ 10(100) $f'p = \frac{f\bar{p}}{1 + 2.5cp}$	$f\bar{p} \text{ MPa (kg/cm}^2)$ 15(150)
Bloque macizo de concreto Mezcla 1 Esp-100	41.072 kg/cm ² < 100 kg/cm ²	71.876 kg/cm ² < 150 kg/cm ²
Bloque macizo de concreto Mezcla 2 Esp-150	53.878 kg/cm ² < 100 kg/cm ²	94.288 kg/cm ² < 150 kg/cm ²
Bloque macizo de concreto Mezcla 3 Esp-210	73.668 kg/cm ² < 100 kg/cm ²	128.92 kg/cm ² < 150 kg/cm ²
No pasa en ninguno de los 2 casos	Debe ser > 100 kg/cm ²	Debe ser > 150 kg/cm ²

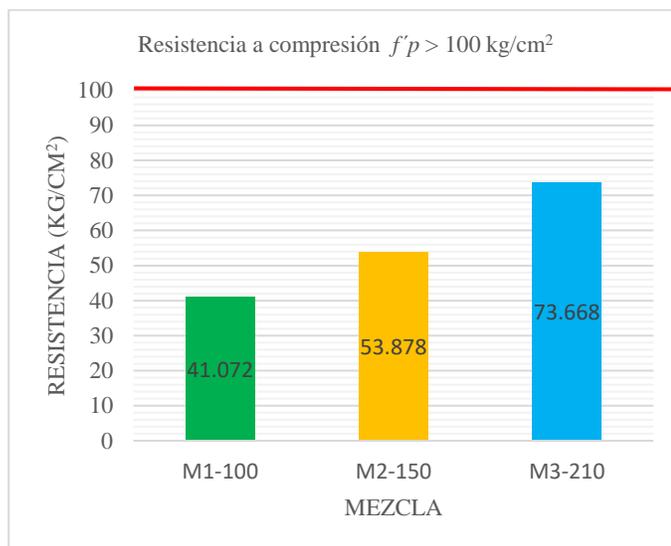


Figura 89. Gráfica de resistencia $f'p$ de la primera etapa experimental (Fuente propia).

¹¹⁰ NMX-C-036-ONNCCE-. (2013). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – MAMPOSTERÍA – RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES Y ADOQUINES – MÉTODO DE ENSAYO. ONNCCE, S. C., MMXIII.

3.3 Mezcla 1- 100 kg/cm² absorción inicial (capilaridad)

La prueba de absorción inicial se llevó a cabo pesando 3 especímenes, tomando lectura de sus dimensiones y peso en estado seco; Después de pesado y medido, se coloca en una superficie plana con un 5 mm de agua por encima de los apoyos, manteniendo este nivel con la finalidad de determinar la cantidad de agua que absorbe durante un tiempo de 10 minutos los datos de los bloques se pueden ver en la tabla 26 (NMX-C-037-ONNCCE-2013¹¹¹).

Tabla 26. Descripción del bloque y registro de pesos seco y húmedo de cada espécimen.

Fecha de fabricación del bloque 3/nov/2020- Fecha de ensaye 15/dic/2020, mezcla 1.												
Especímen	Peso (kg)	NMX-C-038-ONNCCE-2013 ¹¹²									NMX-C-037-ONNCCE-2013	
		Largo (cm)			Alto (cm)			Ancho (cm)			Absorción inicial	
		Medición			Medición			Medición			Peso del espécimen seco (kg)	Peso del espécimen húmedo (kg)
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Esp-1-100	14.675	38.2	38.2	38.2	17.5	18	18	12	11.9	11.9	14.060	14.185
Esp-2-100	13.290	38.1	38.1	38.1	18	18	18	11.9	11.9	11.9	12.750	12.890
Esp-3-100	13.170	38.2	38.2	38.2	17.5	17.5	17.5	12	12	12	12.680	12.830

La absorción máxima inicial se obtuvo registrando los pesos de la pieza húmeda y la misma pieza seca, el resultado multiplicado por 100 dividido entre el área de la pieza que estuvo en contacto con el agua por la raíz cuadrada de diez, este resultado da el porcentaje de absorción inicial de la pieza ensayada como se muestra en la tabla 27; El mismo procedimiento se lleva a cabo para obtener el porcentaje de absorción de los tres especímenes de la misma mezcla

Tabla 27. Cálculo de la absorción inicial máxima en 10 minutos de cada bloque, mezcla 1

Especímen	Cálculo de la absorción máxima inicial en 10 minutos	Resultado
Esp-1-100	$Cb = \frac{100(14185 - 14060)}{684\sqrt{10}}$	5.77%
Esp-2-100	$Cb = \frac{100(12890 - 12750)}{684\sqrt{10}}$	6.47%
Esp-3-100	$Cb = \frac{100(12830 - 12680)}{684\sqrt{10}}$	6.93%

¹¹¹ NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII.

¹¹² NMX-C-038-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería – Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C.MMXIII.

El promedio de la absorción inicial se obtiene de la suma de los porcentajes de absorción inicial de los especímenes ensayados dividido entre el número de especímenes como se muestra en la tabla 28, este mismo cálculo se llevó a cabo para determinar la absorción promedio de todas las mezclas trabajadas en la primera etapa experimental figura 90.

Tabla 28. Cálculo de la absorción promedio para determinación del % de absorción, mezcla 1.

NMX-C-037-ONNCCE-2013					
Espécimen	Peso (kg)	Área (cm ²)	Peso del espécimen seco (gramos)	Peso del espécimen húmedo (gramos)	absorción máxima inicial en 10 minutos
Esp-1-100	14.675	684	14060	14185	5.77%
Esp-2-100	13.290	684	12750	12890	6.47%
Esp-3-100	13.170	684	12680	12830	6.93%
Absorción promedio = $\frac{\Sigma \text{Absorción}}{\# \text{ ensayos}}$					6.39%

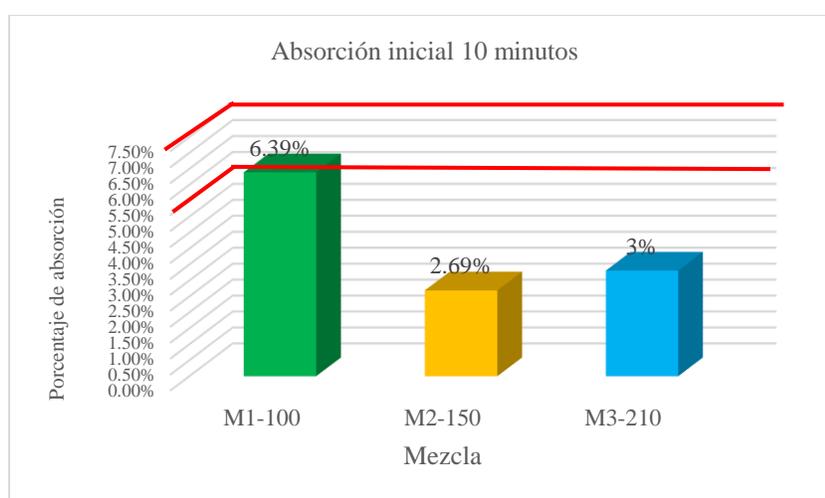


Figura 90. Gráfica de absorción inicial de la primera etapa experimental. (Fuente propia).

La absorción promedio de las mezclas trabajadas dio por debajo de lo que indica la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013¹¹³, la cual indica que el porcentaje de absorción inicial en un periodo de 10 minutos no deberá ser mayor que 7.5%; El resultado de absorción inicial de las tres mezclas trabajadas en la primera etapa experimental dio por debajo de ese valor indicado por la norma como se puede observar en la tabla 29.

¹¹³ NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII.

Tabla 29. Resultados de absorción inicial de la primera etapa experimental

Mezcla	Absorción máxima inicial promedio en 10 minutos	Resultado
M1-100	$Absorción\ promedio \frac{5.77\% + 6.47\% + 6.93}{3}$	6.39 %
M2-150	$Absorción\ promedio \frac{2.54\% + 2.54\% + 3}{3}$	2.69 %
M3-210	$Absorción\ promedio \frac{3.47\% + 3.46\% + 3}{3}$	3.31 %

3.4 Mezcla 1- 100 kg/cm² absorción total en 24 horas.

Para obtener la resistencia total se trabajó con tres especímenes de los cuales se tomaron dimensiones y peso seco, después de pesados se saturan de agua por un periodo de 24 horas, transcurrido ese periodo se seca superficialmente con un trapo para quitar el agua de su superficie y se procede a pesar el espécimen en estado saturado superficialmente seco en la tabla 30 se muestran los datos registrados de cada bloque, este mismo registro se llevó a cabo por cada mezcla trabajada de la primera etapa experimental.

Tabla 30. Descripción del bloque y registro de pesos seco y húmedo (Saturado Superficialmente Seco) de cada espécimen, mezcla 1.

Fecha de fabricación del bloque 3/nov/2020- Fecha de ensayo 15/dic/2020												
Especímen	Peso (kg)	NMX-C-038-ONNCCE-2013 ¹¹⁴									NMX-C-037-ONNCCE-2013 ¹¹⁵	
		Largo (cm)			Alto (cm)			Ancho (cm)			Absorción total	
		Medición			Medición			Medición			Peso del espécimen seco (kg)	Peso del espécimen saturado superficialmente seco (kg)
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Esp-1-100	14.675	38.2	38.2	38.2	17.5	18	18	12	11.9	11.9	14.060	14.925
Esp-2-100	13.290	38.1	38.1	38.1	18	18	18	11.9	11.9	11.9	12.750	13.680
Esp-3-100	13.170	38.2	38.2	38.2	17.5	17.5	17.5	12	12	12	12.680	13.705

¹¹⁴ NMX-C-038-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería – Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE. S.C.MMXIII.

¹¹⁵ NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII

Para obtener el porcentaje de absorción máxima se resta al peso saturado superficialmente seco el peso seco de la pieza y se divide entre el peso de la pieza seca; El resultado se multiplica por 100 para obtener el porcentaje de absorción total de la pieza como se ve en la tabla 31; Este mismo cálculo se llevó a cabo para obtener el porcentaje de absorción de las 3 piezas de la misma mezcla y de las 3 mezclas trabajadas.

Tabla 31. Cálculo de la absorción máxima en 24 horas de cada bloque, mezcla 1.

Espécimen	Cálculo de la absorción máxima en 24 horas	Resultado
Esp-1-100	$A = \frac{14.925 - 14.060}{14.060} \times 100$	6.15 %
Esp-2-100	$A = \frac{13.680 - 12.750}{12.750} \times 100$	7.29 %
Esp-3-100	$A = \frac{13.705 - 12.680}{12.680} \times 100$	8.08 %

La absorción total promedio se obtiene sumando los porcentajes de absorción de los especímenes ensayados entre el número de especímenes como indica la tabla 32, este mismo cálculo se llevó a cabo para las 3 mezclas trabajadas de la primera etapa experimental.

Tabla 32. Cálculo de la absorción promedio % de absorción, mezcla 1.

NMX-C-037-ONNCCE-2013 ¹¹⁶						
Espécimen	Peso (kg)	Área (cm ²)	Masa del espécimen seco (kilogramos)	masa del espécimen húmedo (kilogramos)	absorción total en 24 horas	Masa del espécimen sumergido (kilogramos)
Esp-1-100	14.675	684	14.060	14.925	6.15 %	7.005
Esp-2-100	13.290	684	12.750	13.680	7.29 %	6.270
Esp-3-100	13.170	684	12.680	13.705	8.08 %	6.270
Absorción promedio = $\frac{\Sigma \text{Absorción}}{\# \text{ ensayes}}$					7.17 %	

¹¹⁶ NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII

La absorción total en un periodo de 24 horas resultó por debajo de 12%, valor indicado en la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013¹¹⁷, la cual indica que la absorción total no deberá ser mayor que 12%, como podemos observar en la tabla 33 el resultado de las 3 mezclas se puede ver en la figura 91.

Tabla 33. Resultado de absorción total de la primera etapa experimental

Espécimen	Absorción total promedio en un lapso de 24 horas.	Resultado
M1-100	$Absorción\ promedio\ \frac{5.77\% + 6.47\% + 6.93\%}{3}$	7.17%
M2-150	$Absorción\ promedio\ \frac{5.77\% + 6.47\% + 6.93\%}{3}$	4.20%
M3-210	$Absorción\ promedio\ \frac{5.77\% + 6.47\% + 6.93\%}{3}$	3.42%

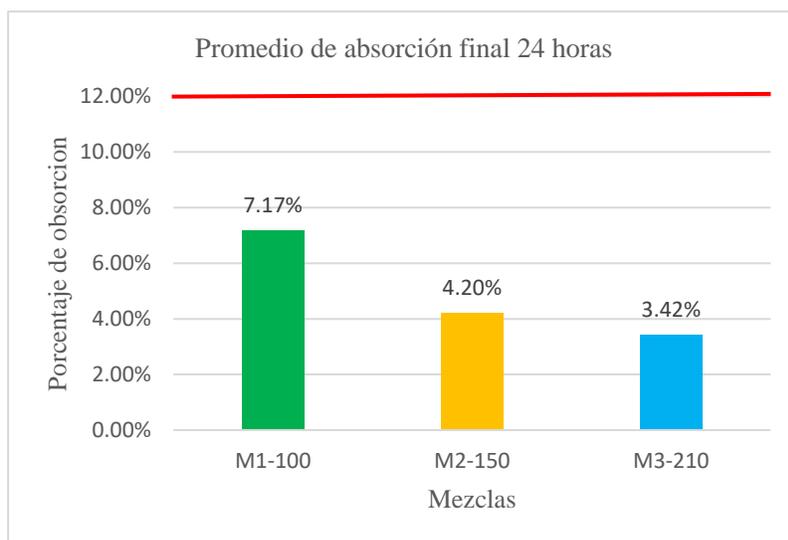


Figura 91. Gráfica de absorción final de la primera etapa experimental (Fuente propia).

¹¹⁷ NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII

CAPÍTULO 4 Resultados de la segunda etapa experimental

4.1 Mezclas de la segunda etapa.

En la segunda etapa experimental se trabajó con seis dosificaciones diferentes, con diferentes porcentajes de materiales de RDC¹¹⁸ y MB¹¹⁹, a diferencia de la primera etapa experimental en la que se trabajaron tres mezclas con 100% de RDC, debido a que no se alcanzaron las resistencias a compresión esperadas de las dosificaciones, se agregó material de banco con la finalidad de mejorar las propiedades de los agregados de las dosificaciones, también se agregaron aditivos que ayudaran a mejorar la trabajabilidad de las mezclas con la finalidad de disminuir el agua de agregada a la mezcla.

Se trabajó una dosificación extra la cual una mezcla con mismo contenido de cemento y agregados de RDC que la mezcla 2 de la primera etapa experimental solo que a esta se le agrego aditivo reductor de agua y fluidificante.

En la mezcla 4 (figura 92) se utilizó la misma dosificación con contenido de cemento que la mezcla 2 de la primera etapa experimental, a diferencia de que en la mezcla 4 se sustituyó el 50% de agregados de RDC por agregados de banco con buena calidad.

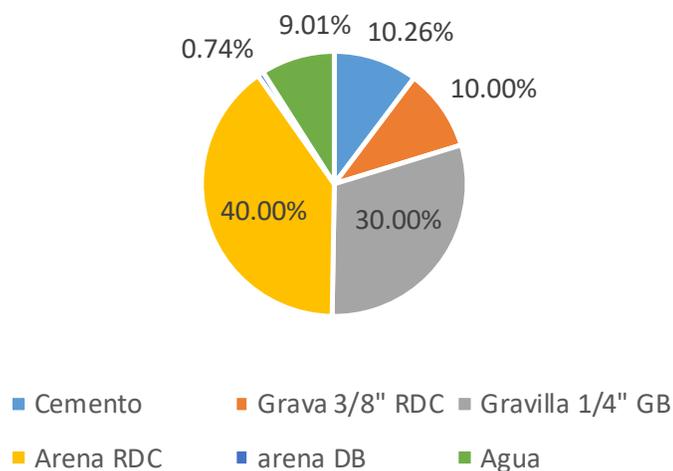


Figura 92. Dosificación de agregados mezcla 4 (Fuente propia).

¹¹⁸ Residuo de Demolición y Construcción.

¹¹⁹ Material de Banco.

En la mezcla 5 (figura 93) al igual que en la mezcla 4 se utilizó la misma dosificación con contenido de cemento y agregados que la mezcla 2, a diferencia de que en la mezcla 5 se sustituyó el 70% de agregados de RDC¹²⁰ por agregados de banco.

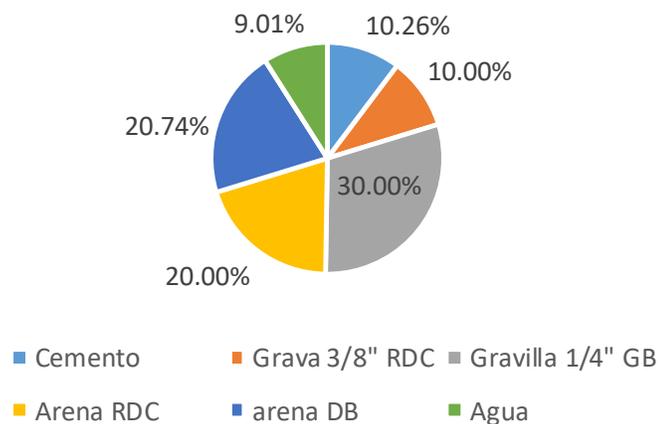


Figura 93. Dosificación de agregados mezcla 5 (Fuente propia).

En la mezcla 6 (figura 94) al igual que en la mezcla 3 de la primera etapa experimental se utilizó la misma dosificación con contenido de cemento y agregados, a diferencia de que en la mezcla 6 se sustituyó el 50% de agregados de RDC por agregados MB¹²¹.

Mezcla 6-210-50% RDC-50% AB del total de la mezcla

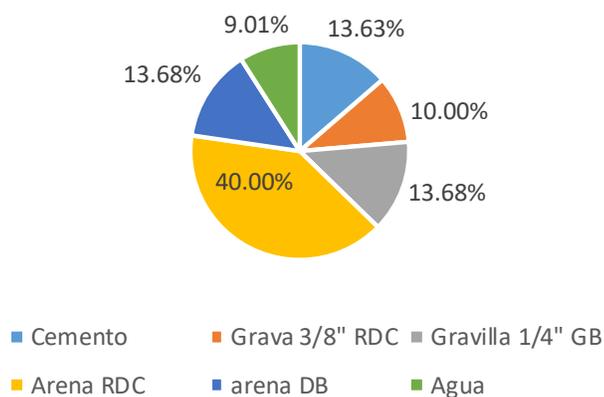


Figura 94. Dosificación de agregados mezcla 6 (Fuente propia).

¹²⁰ Residuo de Demolición y Construcción.

¹²¹ Material de Banco.

La mezcla 7 (figura 95) se dosifico con el mismo contenido de cemento, pero con un 70% de material de banco el 30% de RDC, el contenido de cemento es el mismo utilizado en la dosificación de la mezcla 3.

Mezcla 7-210-30% RDC-70% AB del total de la mezcla

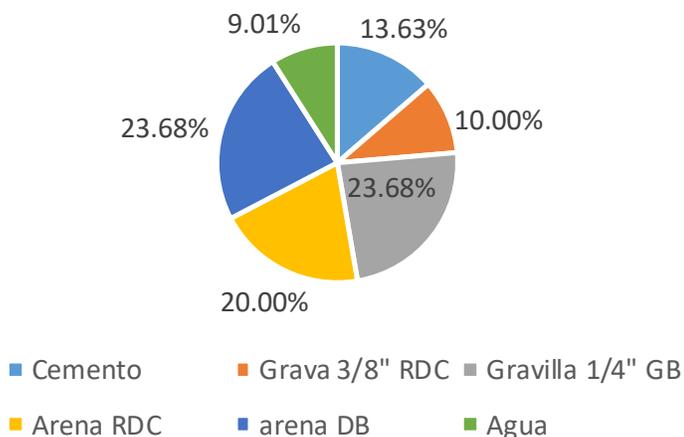


Figura 95. Dosificación de agregados mezcla 7 (Fuente propia).

La mezcla 8 (figura 96) se trabajó con un contenido de cemento y agregados igual al de la mezcla 3 pero solo con un 20% de agregados de RDC y el 80% MB

Mezcla 8-210-20% RDC-80% AB del total de los agregados

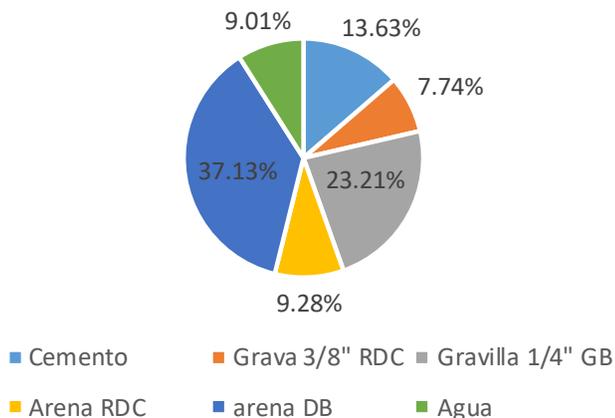


Figura 96. Dosificación de agregados mezcla 8 (Fuente propia).

La mezcla 9 (figura 97) es distinta a todas las anteriores ya que esta se dosificó con un mayor contenido de cemento de 18.02% y solo se agregó un 16.05% de RDC¹²² y un 56.92% MB¹²³.

Mezcla 9-270-16% RDC-84% AB del total de los agregados

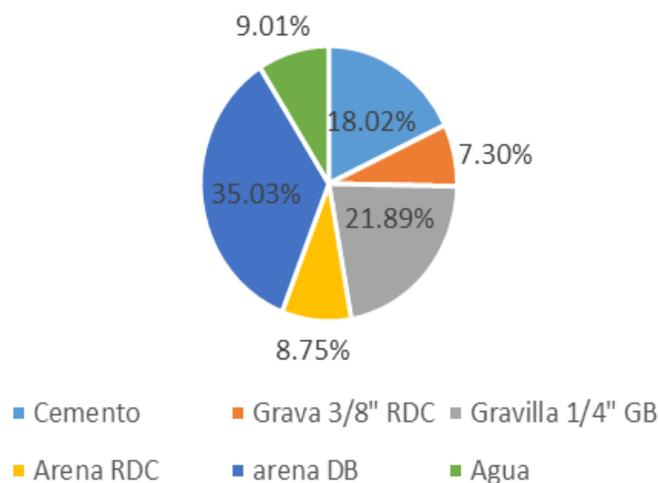


Figura 97. Dosificación de agregados mezcla 8 (Fuente propia).

4.2 Mezcla 4 resistencia estimada 150 kg/cm², 50% RDC-50% AB del total de la mezcla por pieza.

En la segunda etapa experimental se fabricaron especímenes de 6 dosificaciones de las cuales, se ensayaron tres especímenes por cada una de las mezclas, tomando medidas, peso y carga última, los valores mostrados en la tabla 34 son de especímenes correspondientes a la mezcla 4.

Tabla 34. Descripción de los bloques ensayados, mezcla 4, (medidas y carga última).

Fecha de fabricación del bloque 29/enero/2021- Fecha de ensaye a compresión 5/abril/2021												
Espécimen	Peso (kg)	NMX-C-038-ONNCCE-2013									Área (L x A =cm ²)	Carga última (kgf)
		Largo (cm)			Alto (cm)			Ancho (cm)				
		Medición			Medición			Medición				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Esp-1-150	15.790	38.2	38.2	38.2	17.5	18	18	12	12	12	456	89770
Esp-2-150	15.490	38.2	38	38	17.5	18	17.5	12	12	12	456	79080
Esp-3-150	15.270	38.2	38	38	18	18	18	11.8	11.8	11.8	456	73290

¹²² Residuo de Demolición y Construcción.

¹²³ Material de Banco.

La resistencia a compresión se divide la carga última entre el área de la pieza, este cálculo se hizo para las 3 piezas ensayadas, para obtener la resistencia promedio a compresión f_p^- se suma la resistencia de los ensayos y se divide entre el número de ensayos como se muestra en la tabla 35, este cálculo aplico para todas las mezclas trabajadas en la segunda etapa experimental.

Tabla 35. Cálculo de resistencia a compresión por pieza y obtención de resistencia promedio de la mezcla 4, 50% RDC-50% AB.

Espécimen	Peso (kg)	Área (cm ²)	Carga última (Kgf)	Resistencia (kg/cm ²)
Esp-1-150	15.790	456	89770	196.9
Esp-2-150	15.490	456	79080	173.4
Esp-3-150	15.270	456	73290	160.7
<i>resistencia promedio</i> $\frac{\Sigma \text{resistencias}}{\# \text{ ensayos}}$			f_p^-	177

Para el cálculo de la resistencia a compresión de la pieza f_p' se utiliza un coeficiente de variación cp se utiliza un 0.3 por ser una semi-industrializada sin control de calidad como se ve en la tabla 36, el mismo cálculo se llevó a cabo para las 6 mezclas trabajadas y la mezcla extra con 100% RDC¹²⁴ y aditivo fluidificante reductor de agua.

Resistencia a compresión estimada por pieza 150 kg/cm².

Tabla 36. Cálculo de la resistencia a compresión de la pieza, mezcla 4, 50% RDC-50% MB.

Tipo de pieza y material	$f_p' \text{ MPa (kg/cm}^2\text{)} 10(100)$ $f_p' = \frac{f_p^-}{1 + 2.5cp}$	$f_p^- \text{ MPa (kg/cm}^2\text{)} 15(150)$
$f_p' = \frac{177 \frac{kg}{cm^2}}{1 + 2.5(0.30)} = 101.14 \frac{kg}{cm^2}$		
<i>cp 0.30 por ser una planta sin control de calidad</i>		
Bloque macizo de concreto Esp-150, 50% RDC-50% MB ¹²⁵	101.14 kg/cm ² > 100 kg/cm ²	177 kg/cm ² > 150 kg/cm ²
Cumple con los requerimientos de resistencia de una pieza maciza.	Debe ser > 100 kg/cm ²	Debe ser > 150 kg/cm ²

¹²⁴ Residuo de Demolición y Construcción.

¹²⁵ Material de Banco.

En la segunda etapa experimental se realizaron las pruebas a los bloques fabricados con las 7 mezclas de agregados con diferente participación de residuos de construcción y material de banco en su composición total de las cuales se elaboraron 8 especímenes para la realización de las pruebas de resistencia a compresión $f'p$ en las cuales se obtuvieron resultados muy favorables como lo indica la norma NMX-036-ONNCCE-2013¹²⁶, valores de $f'p > 100 \text{ kg/cm}^2$ y $f\bar{p} > 150 \text{ kg/cm}^2$ como se muestra en las figuras 98 y 99 respectivamente.

- M4-150: 50% R.D.C¹²⁷-50% MB¹²⁸ y fluidificante
- M5-150: 30% R.D.C-70% MB y fluidificante
- M6-210: 50% R.D.C-50% MB y fluidificante
- M7-210: 20% R.D.C-80% MB y fluidificante
- M8-210: 20% R.D.C-80% MB y fluidificante
- M9-270: 16% R.D.C-84% M.B y fluidificante
- M10-150: 100% R.D.C y fluidificante

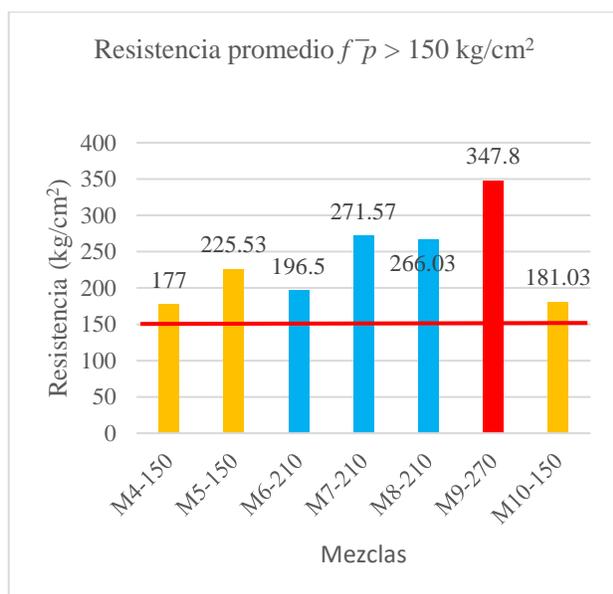


Figura 98. Resistencia $f\bar{p}$ de la segunda etapa experimental (Fuente propia).

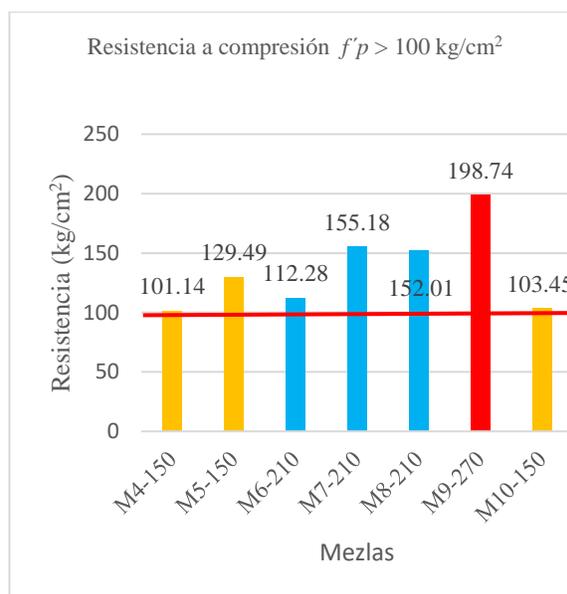


Figura 99. Resistencia $f'p$ de la segunda etapa experimental (Fuente propia).

¹²⁶ NMX-C-036-ONNCCE-. (2013). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – MAMPOSTERÍA – RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES Y ADOQUINES – MÉTODO DE ENSAYO. ONNCCE. S. C., MMXIII.

¹²⁷ Residuo de Demolición y Construcción.

¹²⁸ Material de Banco.

4.3 Mezcla 4 50% RDC-50% MB de la mezcla por pieza absorción inicial (capilaridad).

Para el cálculo de la absorción inicial de los bloques fabricados en la segunda etapa, se identifican los bloques, se toma medidas y peso seco, después se coloca el bloque durante un periodo de 10 minutos manteniendo un nivel de agua de 5 mm sobre los apoyos donde descansa el bloque, transcurrido el tiempo de la prueba se seca la pared lateral del bloque con un trapo con la finalidad de retirar el agua sobrante, se pesa el espécimen y se registra el peso húmedo como se muestra en la tabla 37, que nos servirá para el cálculo del porcentaje de absorción inicial del espécimen, este procedimiento se aplicó a todos los especímenes de las mezclas trabajadas en la segunda etapa experimental.

Tabla 37. Descripción del bloque y registro de pesos seco y húmedo de cada espécimen.

Fecha de fabricación del bloque 3/nov/2020- Fecha de ensaye 15/dic/2020, mezcla 4												
Espécimen	Peso (kg)	NMX-C-038-ONNCCE-2013 ¹²⁹									NMX-C-037-ONNCCE-2013 ¹³⁰	
		Largo (cm)			Alto (cm)			Ancho (cm)			Absorción inicial	
		Medición			Medición			Medición			Peso del espécimen seco (kg)	Peso del espécimen húmedo (kg)
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Esp-1-150	14.390	38	37.8	37.9	18.1	18.3	18.1	11.9	12	11.9	14.390	14.550
Esp-2-150	14.890	38.2	38	37.8	18.1	18.2	18.2	11.9	11.9	11.9	14.890	15.030
Esp-3-150	14.800	38	37.9	37.9	17.8	17.8	17.9	11.8	11.8	11.9	14.800	14.950

El porcentaje de absorción inicial de la pieza se obtiene de la diferencia del peso húmedo y el peso seco multiplicado por 100 y dividido entre el área lateral del bloque por la raíz de 10 como se observa en la tabla 38, el mismo cálculo se llevó a cabo en todas las piezas ensayadas de las mezclas trabajadas.

Tabla 38. Cálculo de la absorción inicial máxima en 10 minutos, mezcla 4.

Espécimen	Cálculo de la absorción máxima inicial en 10 minutos	Resultado
Esp-1-210	$Cb = \frac{100(14550 - 14390)}{684\sqrt{10}}$	7.39 %
Esp-2-210	$Cb = \frac{100(15030 - 14890)}{684\sqrt{10}}$	6.47%
Esp-3-210	$Cb = \frac{100(14950 - 14800)}{684\sqrt{10}}$	6.93 %

¹²⁹ NMX-C-038-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería – Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C.MMXIII.

¹³⁰ NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII.

La absorción inicial promedio se obtiene de la suma de los porcentajes de absorción de los especímenes ensayados, dividido entre el número de especímenes como lo indica la tabla 39.

Tabla 39. Cálculo de la absorción promedio % de absorción, mezcla 4.

NMX-C-037-ONNCCE-2013					
Espécimen	Peso (kg)	Área (cm ²)	Peso del espécimen seco (gramos)	Peso del espécimen húmedo (gramos)	Absorción máxima inicial en 10 minutos.
Esp-1-210	14.390	684	14.390	14.550	7.39 %
Esp-2-210	14.890	684	14.890	15.030	6.47%
Esp-3-210	14.800	684	14.800	14.950	6.93 %
Absorción promedio = $\frac{\Sigma \text{Absorción}}{\# \text{ ensayos}}$					6.93 %

Los resultados de las pruebas realizadas a cada una de las mezclas de la segunda etapa experimental fueron satisfactorios en todas los especímenes fabricados con las 6 mezclas trabajadas, quedando por debajo del 7.5% como valor máximo de absorción, en el caso de la mezcla 10 no se realizó esta prueba porque es la misma dosificación de la mezcla 2 trabajada en la primera etapa experimental, a esta mezcla 10 solo se le agrego reductor de agua- fluidificante, el resultado de la mezcla 2 también fue satisfactorio como lo indica la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013¹³¹, los resultados se pueden observar en la figura 100.

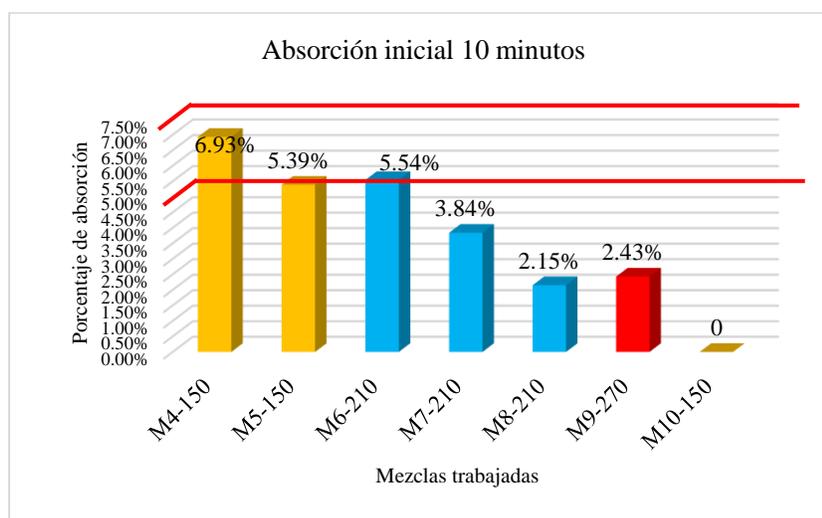


Figura 100. Absorción inicial de la segunda etapa experimental (Fuente propia).

¹³¹ NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII.

4.4 Mezcla 4 50% RDC-50% AB del total de la mezcla por pieza, absorción total en 24 horas.

Para obtener la absorción total se etiquetan los bloques, se toman medidas y peso seco de cada uno, después se dejan saturados de agua por 24 horas, transcurrido ese tiempo se extrae y se pesa en una báscula colgante con el bloque completamente sumergido en agua se toma la lectura del peso del bloque sumergido, se saca del agua el bloque, se seca con un trapo para retirar toda el agua impregnada y pesa para obtener el peso del bloque húmedo como se ve en la tabla 40.

Tabla 40. Descripción del bloque y registro de pesos seco y húmedo (Saturado Superficialmente Seco) de cada espécimen, mezcla 4.

Fecha de fabricación del bloque 3/nov/2020- Fecha de ensaye 15/dic/2020												
Espécimen	Peso (kg)	NMX-C-038-ONNCCE-2013 ¹³²									NMX-C-037-ONNCCE-2013 ¹³³	
		Largo (cm)			Alto (cm)			Ancho (cm)			Absorción inicial	
		Medición			Medición			Medición			Peso del espécimen seco (kg)	Peso del espécimen húmedo (kg)
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Esp-1-150	14.390	38	37.8	37.9	18.1	18.3	18.1	11.9	12	11.9	14.390	16.060
Esp-2-150	14.890	38.2	38	37.8	18.1	18.2	18.2	11.9	11.9	11.9	14.890	16.400
Esp-3-150	14.800	38	37.9	37.9	17.8	17.8	17.9	11.8	11.8	11.9	14.800	16.460

El porcentaje de absorción total se obtiene de la diferencia del peso húmedo y el peso seco, dividido entre el peso seco, multiplicando el resultado por 100 como se indica en la tabla 41, se calcula el porcentaje de cada una de las piezas de todas las mezclas trabajadas en la segunda etapa experimental.

Cálculo de la absorción final del espécimen.

Tabla 41. Cálculo de la absorción máxima en 24 horas de la mezcla 4.

Espécimen	Cálculo de la absorción máxima en 24 horas	Resultado
Esp-1-150	$A = \frac{16.060 - 14.390}{14.390} \times 100$	11.60 %
Esp-2-150	$A = \frac{16.400 - 14.890}{14.890} \times 100$	10.14 %
Esp-3-150	$A = \frac{16.460 - 14.800}{14.800} \times 100$	11.21 %

¹³² NMX-C-038-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería – Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C.MMXIII.

¹³³ NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII.

El porcentaje de absorción total de la mezcla se obtiene de la suma de los porcentajes de absorción de todas las piezas ensayadas de cada una de las mezclas, dividiendo el resultado entre el número de especímenes ensayados de cada mezcla como lo señala la tabla 42.

Tabla 42. Cálculo de la absorción promedio para determinación del % de absorción, mezcla 4.

NMX-C-037-ONNCCE-2013						
Espécimen	Peso (kg)	Área (cm ²)	Peso del espécimen seco (kilogramos)	Peso del espécimen húmedo (kilogramos)	Absorción total en 24 horas	Masa del espécimen sumergido (kilogramos)
Esp-1-150	14.390	684	14.390	16.060	11.60 %	8.165
Esp-2-150	14.890	684	14.890	16.400	10.14 %	8.455
Esp-3-150	14.800	684	14.800	16.460	11.21 %	8.475
Absorción promedio= $\frac{\Sigma \text{Absorción}}{\# \text{ ensayos}}$					10.98 %	

Los resultados obtenidos de las pruebas de absorción total de las mezclas trabajadas en la segunda etapa experimental, fueron todos satisfactorios obteniendo valores por encima del 12% valor máximo de absorción total que establece la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013¹³⁴ como se observa en la figura 101, en el caso de la mezcla 10 no se realizó esta prueba porque se trata de la misma dosificación de la mezcla dos a la cual solo se le agrego reductor de agua y fluidificante.

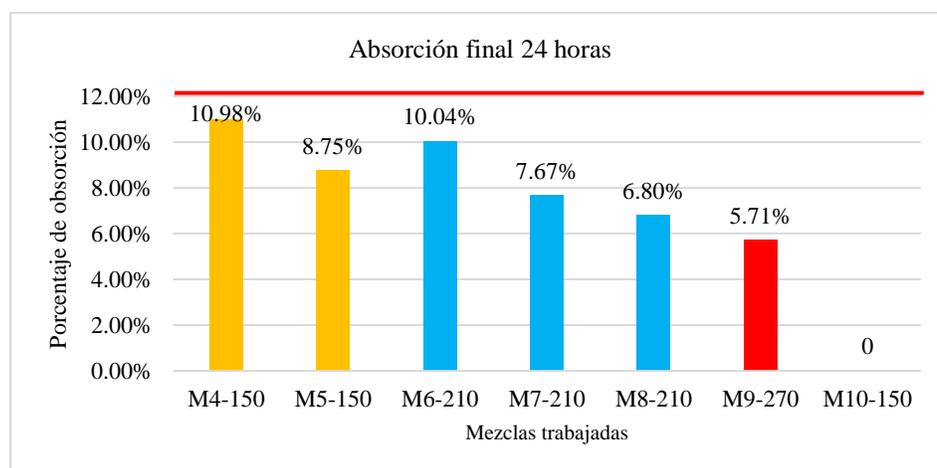


Figura 101. Gráfica de absorción total de la segunda etapa experimental (Fuente propia).

¹³⁴ NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII.

4.5 Granulometría del mortero para pega con RDC (Residuo de construcción) y MB (material de banco).

Se llevo a cabo el análisis granulométrico de tres muestras de mortero tipo 1 con diferentes porcentajes de participación de agregados de RDC¹³⁵ y MB¹³⁶, la primera dosificación se trabajó en proporción de 3:1:1/4 3 partes de arena 100% RDC, una de cemento y 1/4 de cal, revolviendo los agregados y tomando una muestra representativa de 600 gr la cual se deja en el horno por un periodo de 24 horas, transcurrido ese periodo de tiempo se pesa nuevamente la muestra y se coloca en el tamiz para poder determinar las muestras retenidas por cada tamiz se pesa cada una de ellas y se registran los pesos para poder calcular los porcentajes retenidos y acumulados de cada malla como lo indica la tabla 43, se realizó a cabo el mismo proceso para el cálculo de la curva granulométrica de las tres mezclas trabajadas.

Tabla 43. Mortero tipo 1, 100% RDC, tamizado

Mortero 100% RDC -Peso muestra 600 gr-Peso seco 540 gr				
# Malla	Abertura (mm)	Retenido (gr)	% Retenido	% Acumulado
4	4.75	1	0.19	0.19
8	2.36	112	20.74	20.93
16	1.18	108	20.00	40.93
30	0.60	97	17.96	58.89
50	0.30	112	20.74	79.63
100	0.15	60	11.11	90.74
Charola	-	50	9.26	100.00
Total	-	540	100.00	2.91

¹³⁵ Residuo de Demolición y Construcción.

¹³⁶ Material de Banco.

En la gráfica (figura 102) podemos observar que la muestra analizada del mortero con 100% RDC tiene un mayor contenido de gruesos.

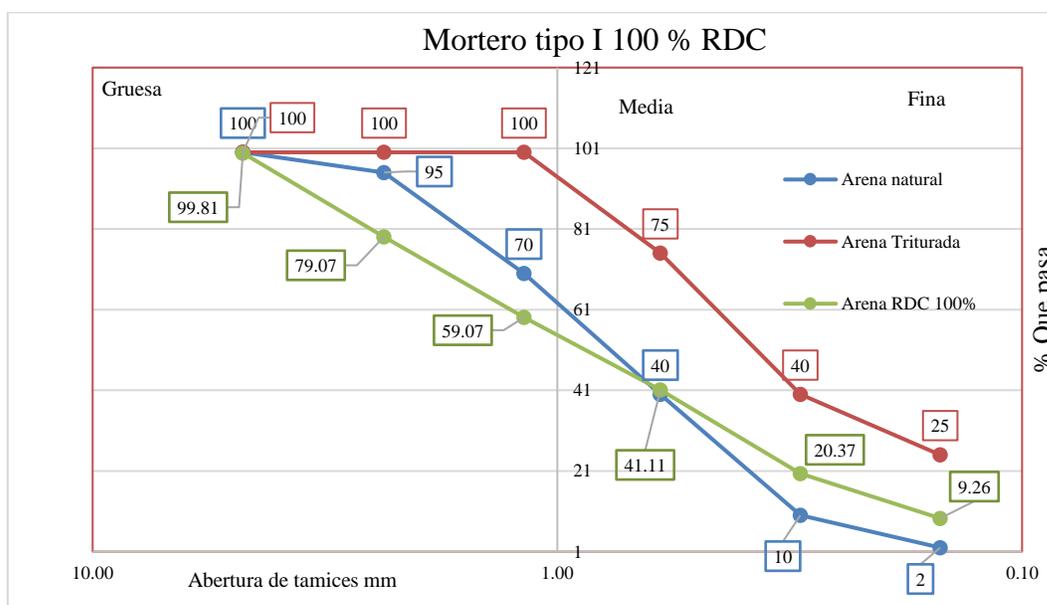


Figura 102. Gráfica de curva granulométrica de mortero tipo 1 100% RDC (Fuente propia).

Segunda dosificación de mortero tipo 1 trabajada con proporciones 3:1:1/4, con tres partes de arena (50% RDC¹³⁷ y 50% MB¹³⁸), una parte de cemento y un 1/4 de cal, en la tabla 44 se muestran los resultados del análisis granulométrico de la segunda dosificación.

Tabla 44. Mortero tipo 1, 50% RDC y 50% MB, tamizado

Mortero 100% RDC -Peso muestra 600 gr-Peso seco 553 gr				
# Malla	Abertura (mm)	Retenido (gr)	% Retenido	% Acumulado
4	4.75	0	0.00	0.00
8	2.36	78	14.10	14.10
16	1.18	123	22.24	36.35
30	0.60	119	21.52	57.87
50	0.30	105	18.99	76.85
100	0.15	53	9.58	86.44
Charola	-	75	13.56	100.00
Total	-	553	100.00	2.72

¹³⁷ Residuo de Demolición y Construcción.

¹³⁸ Material de Banco.

En la gráfica (figura 103) se observa que la mayoría de los porcentajes de la mezcla ensayada se concentra en lo la parte del límite superior en donde se encuentran los finos.

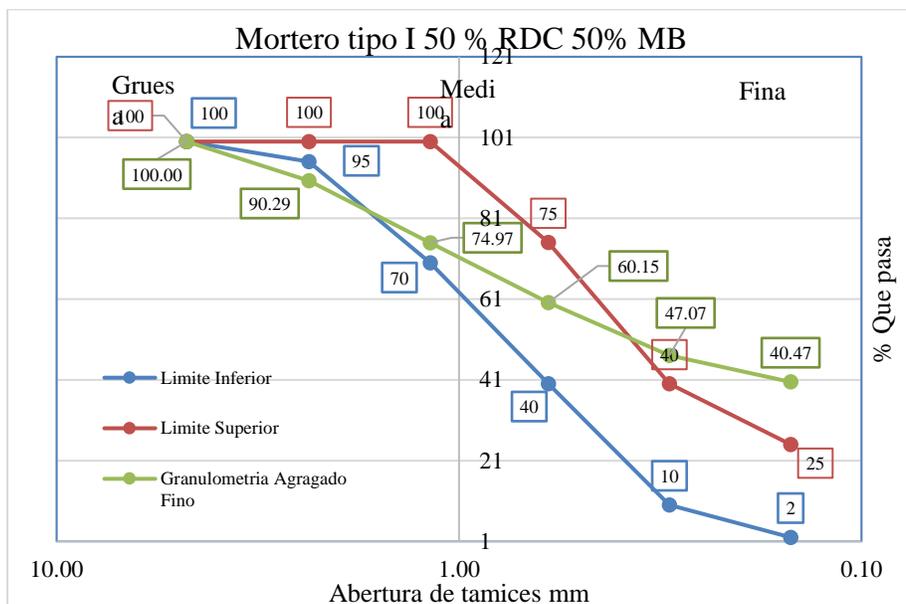


Figura 103. Gráfica de curva granulométrica de mortero tipo 1 50% RDC (Fuente propia).

En la tercera dosificación de mortero tipo 1 trabajada con proporciones 3:1:1/4, con tres partes de arena (30% RDC¹³⁹ y 70% MB¹⁴⁰), una parte de cemento y un ¼ de cal, en la tabla 45 se muestran los resultados del análisis granulométrico de la tercera dosificación.

Tabla 45. Mortero tipo 1, 30% RDC y 70% MB, tamizado

Mortero 100% RDC -Peso muestra 600 gr-Peso seco 563 gr				
# Malla	Abertura (mm)	Retenido (gr)	% Retenido	% Acumulado
4	4.75	1	0.18	0.18
8	2.36	49	8.70	8.88
16	1.18	138	24.51	33.39
30	0.60	134	23.80	57.19
50	0.30	106	18.83	76.02
100	0.15	49	8.70	84.72
Charola	-	86	15.28	100.00
Total	-	563	100.00	2.60

¹³⁹ Residuo de demolición y Construcción.

¹⁴⁰ Material de Banco.

En la gráfica (figura 104) se observa que los valores se encuentran con una cantidad de finos balanceada entre el límite superior e inferior de la gráfica, por otro lado, se observan valores por debajo del límite inferior donde se encuentran los gruesos en de la mezcla ensayada se concentra en lo la parte del límite superior en donde se encuentran los finos.

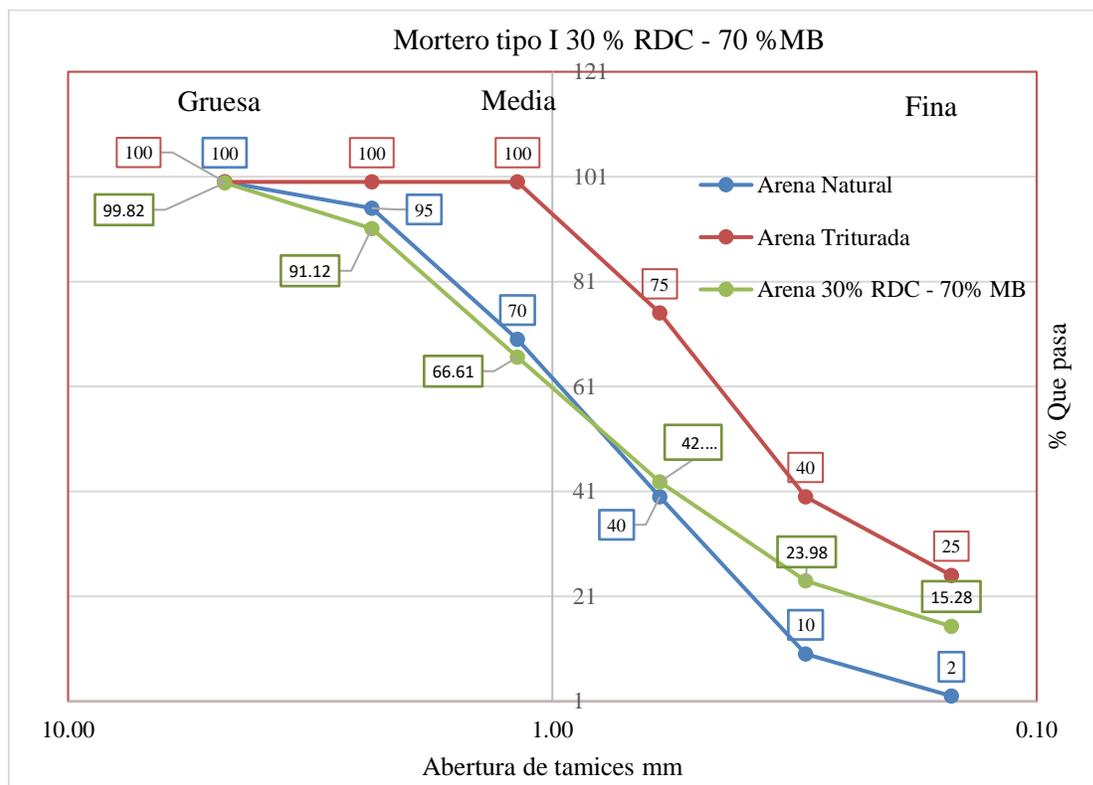


Figura 104. Curva granulométrica del mortero tipo 1 30% RDC¹⁴¹ y MB¹⁴² (Fuente propia).

¹⁴¹ Residuo de Demolición y Construcción.

¹⁴² Material de Banco.

4.6 Mortero utilizado en la elaboración de las muestras y modelos de ensaye

La resistencia a compresión del mortero tipo 1 se obtuvo fabricando tres cubos de mortero de cada una de las tres dosificaciones trabajadas, con dimensiones de 5cm x 5 cm x 5 cm, se llenaron en tres capas compactadas concéntricamente enrasando los cubos al final y llevados a un cuarto de curado por 28 días, transcurrido ese periodo de tiempo se etiqueta cada cubo tomando lectura de sus medidas y su área de ensayo, fueron ensayados en la maquina universal aplicando carga hasta la ruptura del cubo, registrando la carga ultima de cada uno de los cubos de todas las mezclas trabajadas como se puede observar en la tabla 46.

Tabla 46. Descripción de los cubos de mortero, (medidas y carga última).

Mezcla de mortero con residuo de construcción (RDC) a 28 días.	Espécimen	Largo cm	Alto cm	Ancho cm	Área (L x A =cm ²)	Carga ultima (kgf)
Mezcla con 100% RDC	Esp-1	5	5	5	25	4053
	Esp-2	5	5	5	25	4162
	Esp-3	5	5	5	25	4142
Mezcla con 50 % RDC ¹⁴³ -50% MB ¹⁴⁴	Esp-1	5	5	5	25	3262
	Esp-2	5	5	5	25	3191
	Esp-3	5	5	5	25	3027
Mezcla con 30% RDC-70% MB.	Esp-1	5	5	5	25	3656
	Esp-2	5	5	5	25	3611
	Esp-3	5	5	5	25	3660

4.7 Cálculo de la resistencia a compresión de los cubos de mortero.

La resistencia a compresión de los cubos de mortero se obtiene de la división de la carga ultima entre el área de contacto de la carga con el cubo como se muestra en la siguiente expresión.

$$Resistencia\ a\ compresión = \frac{carga\ última}{Área}$$

¹⁴³ Residuo de Demolición y Construcción.

¹⁴⁴ Material de Banco.

La resistencia promedio de la mezcla se obtiene de la suma de la resistencia de a compresión de los cubos de mortero ensayados de cada mezcla entre el número de cubos de cada mezcla, de cada mezcla se ensayaron tres especímenes, como se muestra en la tabla 47.

Tabla 47. Cálculo de resistencia a compresión de los cubos de mortero y obtención de resistencia promedio de la mezcla.

Mezcla de mortero tipo I con residuo de construcción (RDC)	Espécimen	Área (cm ²)	Carga última (Kgf)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio $\frac{\sum \text{resistencias}}{\# \text{ ensayos}}$ f'_p MPa (kg/cm ²) Debe ser > 18(180)
Mezcla con 100% RDC ¹⁴⁵	Esp-1	25 cm ²	4053	162.12	164.76
	Esp-2	25 cm ²	4162	166.48	
	Esp-3	25 cm ²	4142	165.68	
Mezcla con 50 % RDC-50% MB ¹⁴⁶	Esp-1	25 cm ²	3262	130.48	126.4
	Esp-2	25 cm ²	3191	127.64	
	Esp-3	25 cm ²	3027	121.08	
Mezcla con 30% RDC-70% MB.	Esp-1	25 cm ²	3656	146.24	145.69
	Esp-2	25 cm ²	3611	144.44	
	Esp-3	25 cm ²	3660	146.4	

Resistencia a compresión estimada por cada cubo 190 kg/cm².

La resistencia a compresión del mortero para fines de diseño f_j se obtiene de la división de f'_j entre uno más el producto de 2.5 por 0.2, el mismo cálculo se llevó a cabo para obtener el f'_p de las tres mezclas trabajadas como se indica en la tabla 48.

Tabla 48. Cálculo de la resistencia a compresión del mortero para fines de diseño, para los 3 tipos de mezcla.

Mortero tipo I	$f_j = \frac{f'_j}{1 + 2.5c_j}$ c_j 0.20 no debe ser menor a 0.20	f'_p MPa (kg/cm ²) Debe ser > 12.5(125)
Mezcla con 100% RDC	$f_j = \frac{164.76}{1 + 2.5(0.20)}$	109.84
Mezcla con 50 % RDC-50% material de banco	$f_j = \frac{126.4}{1 + 2.5(0.20)}$	84.26
Mezcla con 30% RDC-70% material de banco.	$f_j = \frac{145.69}{1 + 2.5(0.20)}$	97.12

¹⁴⁵ Residuo de Demolición y Construcción.

¹⁴⁶ Material de Banco.

Los resultados de la resistencia a compresión de los cubos de mortero para fines de diseño de las tres mezclas no fueron satisfactorios debido a que no se alcanzó la resistencia que indica la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014¹⁴⁷, sin embargo, podemos decir que la mezcla que obtuvo una menor resistencia fue la mezcla 2 esto se debe al mayor contenido de finos obtenido del análisis granulométrico, se requiere mayor contenido de cemento para alcanzar la resistencia de 125 kg/cm², se obtuvo un buen desempeño de los cubos ensayados, en general las resistencias son elevadas y por la mejoría de los resultados de las mezclas trabajadas para hacer los bloques de concreto, agregando aditivo fluidificante reductor de agua se alcanzaría la resistencia que indica la norma.

4.8 Fluidez inicial del mortero para pega con RDC (Residuo de construcción) y MB (material de banco).

La fluidez inicial del mortero se obtiene colocando el cono en la mesa de fluidez llenando el cono en tres capas haciendo una compactación concéntrica en cada una de las capas y por último enrasando el cono y se retira el cono de la mesa quedando solo el mortero, después se aplican 20 golpes con la manivela a la mesa de fluidez, se registran cuatro mediciones en el mortero después de aplicado los 20 golpes como se observa en la tabla 49, este procedimiento se llevó a cabo en las tres mezclas trabajadas.

Tabla 49. Fluidez inicial del mortero

Mezcla mortero tipo I	Medición	Medición	Medición	Medición	sumatoria
	1	2	3	4	
Mezcla con 100% RDC	29	29	29.5	29	116
Mezcla con 50 % RDC ¹⁴⁸ -50% MB ¹⁴⁹	34	33	33	32.5	132.5
Mezcla con 30% RDC-70%MB.	29	30	30.5	30.5	120

¹⁴⁷ MX-C-486-ONNCCE-2014. (2014). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA MORTERO PARA USO ESTRUCTURAL-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C., MMXIV.

¹⁴⁸ Residuo de Demolición y Construcción.

¹⁴⁹ Material de Banco.

4.9 Fluidez de succión del mortero (Retención de agua del mortero) para pega con RDC (Residuo de construcción) y MB (material de banco).

Para obtener la fluidez de succión se coloca el molde disco en el cono de succión, se rellena el molde compactando el mortero con golpes concéntricos y se enrasa y se aplica succión por un tiempo no mayor a 8 minutos, se retira todo el mortero y con el mismo mortero se rellena el cono de bronce en la mesa de fluidez, llevando a cabo el mismo procedimiento de la prueba de fluidez inicial registrando las lecturas para calcular el porcentaje de retención de agua mínima requerida como se indica en la tabla 50, este procedimiento se aplicó a las tres mezclas trabajadas.

Tabla 50. Fluidez de succión del mortero.

Mezcla mortero tipo I	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	sumatoria
Mezcla con 100% RDC ¹⁵⁰	16	16.5	17.5	17	67
Mezcla con 50 % RDC-50% MB ¹⁵¹	23.5	20	22	20	85.5
Mezcla con 30% RDC-70% MB.	18	21.5	17	18.5	75

Para obtener el porcentaje de retención mínima requerida se divide la sumatoria de los resultados de la prueba de fluidez inicial entre la sumatoria de los resultados de la fluidez de succión, el resultado se divide entre 100 como se ve en la tabla 51. El porcentaje de fluidez de succión no debe ser menor al 75% como indica la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014¹⁵², los resultados indican que el mortero requiere de aditivo que ayude a retener agua.

¹⁵⁰ Residuo de Demolición Construcción.

¹⁵¹ Material de Banco.

¹⁵² NMX-C-486-ONNCCE-2014. (2014). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA MORTERO PARA USO ESTRUCTURAL-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C., MMXIV.

Tabla 51. Porcentaje de retención mínima requerida.

Mezcla mortero tipo I	Fluidez inicial.	Fluidez final.	$\% \text{ Retencion} = \left(\frac{f. \text{ final}}{f. \text{ inicial}} \right) \times 100$	75% retención mínima requerida.
Mezcla con 100% RDC ¹⁵³	116	67	57.51	57.51 % < 75 % Requiere de aditivo
Mezcla con 50 % RDC-50% MB ¹⁵⁴ .	132.5	85.5	64.53	64.53 % < 75 % Requiere de aditivo
Mezcla con 30% RDC-70% MB.	120.5	75	62.50	62.50 % < 75 % Requiere de aditivo

4.10 Rendimiento del mortero para pega con RDC (Residuo de construcción) y MB (material de banco).

Para obtener el rendimiento de mortero se pesa un kilo de mortero tipo I y se le agrega agua hasta lograr una buena trabajabilidad, en general para la elaboración de las tres mezclas se consumió 0.9 litros por cada kilogramo fabricado y un rendimiento de mortero de 0.7 litros por kilogramo como se puede observar en la tabla 52.

Tabla 52. Rendimiento por kilogramo y consumo de agua por kilogramo.

Mezcla mortero tipo I	Rendimiento por kilogramo en litros.	Consumo de agua por kilogramo en litros.
Mezcla con 100% RDC.	0.700	0.910
Mezcla con 50 % RDC-50% MB.	0.700	0.910
Mezcla con 30% RDC-70% MB.	0.700	0.850

4.11 Cálculo de resistencia de pilas

La resistencia a compresión de las pilas se obtuvo de la fabricación y ensaye de tres pilas, cada pila se construyó con tres especímenes mampuestos fabricados con la mezcla 4, se cabecearon dos piezas de cada pila colocando el primer espécimen previamente cabeceado sobre una superficie nivelada, se pegaron los dos elementos faltantes con mortero de pega tipo 1

¹⁵³ Residuo de Demolición y Construcción.

¹⁵⁴ Material de Banco.

verificando la total verticalidad y plomo de la pila, la última pieza pegada para cerrar la pila se niveló por que también se trataba de una pieza previamente cabeceada, se dejaron reposar por 28 días, posterior a esa fecha se clasificaron tomando medidas del espécimen, alto ancho y largo, calculando el área de contacto de la carga, se ensayó el espécimen y se registró la carga última, como se muestra en la tabla 53.

Tabla 53. Descripción de pila, (medidas y carga última).

Fecha de fabricación de las pilas día/mes/2021- Fecha de ensaye a compresión día/mes/2021 NMX-C-ONNCCE-464-2010 ¹⁵⁵ .						
Mezcla 3 - 150 kg/cm ² con 50% RDC - 50% MB	Espécimen	Ancho b (cm)	Alto (cm)	Espesor t (cm)	Área (L x A =cm ²)	Carga última P (kgf)
	Esp-1	38	56.5	12	456	52,427.8
	Esp-2	38	57	12	456	48,018.1
	Esp-3	38.1	57	12	456	43,493.7

La relación de esbeltez de la pila se obtiene de la división de la altura entre el espesor del espécimen a ensayar, posteriormente se buscan valores en la tabla 14 que muestra los factores de correctivos correspondientes entre la relación de altura y espesor de la pila y su factor correctivo correspondiente, en este caso el valor de relación de esbeltez es mayor a 4 pero menor a 5 por lo que se calcula la interpolación lineal tomando los valores de la tabla 54, el factor de relación de esbeltez se obtiene con la siguiente expresión.

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{57}{12} = 4.75$$

$$\frac{x - 1}{4.75 - 4} = \frac{1.05 - 1}{5 - 4}$$

$$x = \left(\frac{(1.05-1)(4.75-4)}{5-4} \right) + 1$$

$$x = 1.0375$$

Tabla 54. Interpolación lineal.

X	Y
1.00	4
x	4.75
1.05	5

¹⁵⁵ NMX-C-ONNCCE-464-. (2010). industria de la construcción – mampostería - determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación resistencia y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto-métodos de ensayo. ONNCCE, S.C., XI.

La resistencia a compresión $f'm$ de la pila se obtuvo de la división de la carga entre el área bruta multiplicada por el factor correctivo, se repite el cálculo para cada una de las pilas ensayadas para obtener la resistencia promedio a compresión de la pila $f\bar{m}$ se sumaron los resultados de los ensayos a compresión de las tres pilas entre el mismo número de pilas como se muestra en la tabla 55.

Tabla 55. Cálculo de resistencia a compresión de las pilas y obtención de resistencia promedio.

Resistencia a compresión de pilas NMX-C-ONNCCE-464-2010 ¹⁵⁶							
Mezcla 3- 150 kg/cm ² con 50% RDC- 50% MB.	Espécimen	Ancho b (cm)	Espesor t (cm)	Área (t x b =cm ²)	Carga última P (kgf)	Factor correctivo	Resistencia a compresión de la pila $f'm$ MPa (kg/cm ²).
$f'm$ $= \frac{P}{t * b} * f.e$	Esp-1	38	12	456	52,427.8	1.0375	119.28
	Esp-2	38	12	456	48,018.1		109.25
	Esp-3	38	12	456	43,493.7		98.95
Resistencia promedio = $\frac{\Sigma \text{resistencias}}{\# \text{ ensayos}}$						$f\bar{m}$	109.16

La resistencia a compresión para fines de diseño se obtuvo de la división de la resistencia promedio a compresión de las pilas entre uno más 2.5 factorizado por su coeficiente de variación cm donde cm es igual a 0.1 por tratarse de una planta semi-industrializada sin control de calidad obteniendo una resistencia a compresión de la mampostería con fines de diseño de 87.33 kg/cm² el desarrollo del cálculo se puede ver en la tabla 56.

Tabla 56. Cálculo de la resistencia a compresión para fines de diseño Mezcla 4 - 150 kg/cm² con 50% RDC y 50% MB.

Mezcla 4 - 150 kg/cm ² con 50% RDC y 50% MB	$f'm$ MPa (kg/cm ²) 10(100) $f\bar{m} = \frac{f'm}{1 + 2.5cm}$ cm 0.1	$f\bar{p}$ MPa (kg/cm ²) 15(150)
$f'm = \frac{109.16}{1+2.5(0.1)} = 87.33 \text{ kg/cm}^2$		

¹⁵⁶ NMX-C-ONNCCE-464-. (2010). industria de la construcción – mampostería - determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación resistencia y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto-métodos de ensayo. ONNCCE, S.C., XI.

4.12 Cálculo de resistencia de los muretes

La resistencia a compresión diagonal se obtuvo de la fabricación de tres muretes construidos con bloques de concreto elaborados con la mezcla 4, cada murete se fabricó con tres piezas enteras y tres mitades, los bloques formaron un mampuesto de 1.5 piezas en cada hilada con un total de 3 hiladas asentadas en una superficie nivelada verificando la verticalidad de los elementos que conforman el murete, para construir el murete se utilizó motero tipo 1, los muretes se dejaron reposar por 28 días, después de transcurrido ese tiempo se emboquillaron dos esquinas opuestas de cada uno de los muretes a los cuales también se etiquetaron tomando datos de ancho alto y espesor, después de eso se colocó cada murete para su ensayo a compresión en la maquina universal, aplicando carga hasta presentar la ruptura del murete, el mismo procedimiento se aplicó a cada uno de los muretes fabricados de la mezcla 4 50% RDC¹⁵⁷ y 50% MB¹⁵⁸, los datos se pueden observar en la tabla 57.

Tabla 57. Descripción del murete, (medidas y carga última).

Fecha de fabricación de los muretes 18/mayo/2021- Fecha de ensaye a compresión 30/junio/2021 NMX-C-464-ONNCCE-2010 ¹⁵⁹ .					
Mezcla 4 – 150 kg/cm ² con 50% RDC y 50% MB	Espécimen	Ancho (cm)	Alto L_c ¹⁶⁰ (cm)	Espesor t (cm)	Carga última P (kgf)
	Esp-1	57	58.9	12	17,657.5
	Esp-2	58	59.9	12	16,996.7
	Esp-3	58	57.5	12	17,161.1

Para obtener la resistencia a compresión de cada murete se midió la distancia de esquina a esquina en dirección con los apoyos (L_c) de antes de la aplicación de la carga, se divide la carga entre el producto del espesor del murete y la longitud de la cuerda, la resistencia a compresión promedio se obtiene de la suma de las resistencias obtenidas de los muretes entre el número de muretes las características de cada murete se pueden ver en la tabla 58.

¹⁵⁷ Residuo de Demolición y Construcción.

¹⁵⁸ Material de banco.

¹⁵⁹ NMX-C-ONNCCE-464-. (2010). industria de la construcción – mampostería - determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación resistencia y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto-métodos de ensayo. ONNCCE, S.C., XI

¹⁶⁰ Longitud de la diagonal a Compresión.

Tabla 58. Cálculo de resistencia a compresión de los muretes y obtención de resistencia promedio.

Resistencia promedio a compresión de muretes NMX-C-464-ONNCCE-2010 ¹⁶¹					
Mezcla 4 - 150 kg/cm ² con 50% RDC y 50% MB	Espécimen	Alto Lc (cm)	Espesor t (cm)	Carga última P (kgf)	Resistencia a compresión del murete $V'm$ MPa(kg/cm ²).
$V_m = \frac{P}{t * Lc}$	Esp-1	81.96	12	17,657.5	17.95
	Esp-2	83.38	12	16,996.7	16.98
	Esp-3	81.67	12	17,161.1	17.51
Resistencia promedio = $\frac{\sum \text{resistencias}}{\# \text{ ensayos}}$				V_m	17.48

La resistencia a compresión diagonal para fines de diseño de la mezcla 4 50% RDC¹⁶² y 50% MB¹⁶³ se obtiene de la división de la resistencia a compresión promedio, entre uno más 2.5 por el coeficiente de variación de 0.2 por tratarse de una planta semi-industrializada sin control de calidad, con el ensayo a compresión diagonal se obtuvo una resistencia a compresión para fines de diseño de 11.65 kg/cm² el cálculo se puede ver en la tabla 59.

Tabla 59. Cálculo de la resistencia a compresión para fines de diseño mezcla 4 - 150 kg/cm² con 50% RDC y 50% MB

Mezcla 4 - 150 kg/cm ² con 100% RDC	$V'm$ MPa (kg/cm ²) debe ser >0.2(2) $V'm = \frac{V_m}{1 + 2.5cv}$ cv 0.20 por ser una planta sin control de calidad	V_m MPa (kg/cm ²) debe ser >0.2 (2)
$V'm = \frac{17.48 \frac{kg}{cm^2}}{1 + 2.5(0.20)} = 11.65 \frac{kg}{cm^2}$		

¹⁶¹ NMX-C-ONNCCE-464-. (2010). industria de la construcción – mampostería - determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación resistencia y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto-métodos de ensayo. ONNCCE, S.C., XI.

¹⁶² Residuo de Demolición y Construcción.

¹⁶³ Material de banco.

4.13 Resultado del ensayo a compresión de bloques macizos de algunas tiendas comerciales y casas de materiales.

Con la finalidad de conocer la resistencia a compresión de algunas piezas vendidas en algunas casas de materiales y tiendas departamentales que se dedican a la venta de materiales de construcción de los cuales se obtuvieron valores de resistencia a compresión de la pieza por debajo de lo que indica la norma NMX-036-ONNCCE-2013¹⁶⁴ la cual determina que la resistencia promedio a compresión f_p no debe ser menor a 150 kg/cm² y la resistencia a compresión de la pieza f'_p no debe ser menor a 100 kg/cm², en el caso de la tienda departamental 1 y 2 se obtuvo un f_p de 173 y 124 kg/cm² y una f'_p de 98.75 y 71.08 kg/cm² a pesar de ser piezas ligeras de tepezil alcanzaron buenas resistencias, en el caso de las casas de materiales presentaron resistencias bajas probablemente debido a la que no cuentan con un control de calidad que ayude a regular la calidad de los bloques que fabrican, las resistencias y características de los especímenes se pueden ver en la tabla 60.

Tabla 60. Prueba de resistencia a compresión de especímenes del mercado

Resistencia a compresión de especímenes (tiendas departamentales y casas de materiales) NMX-036-ONNCCE-2013							
Especímen	NMX-C-038-ONNCCE-2013			Área (L x A =cm ²)	Carga última (kgf)	Resistencia a compresión $f_p > 150$ kg/cm ²	Resistencia a compresión f'_p > 100 kg/cm ²
	Largo (cm)	Alto (cm)	Ancho (cm)				
	Medición	Medición	Medición				
Tienda departamental 1	38	18	12	456	81,440	173	98.85
Tienda departamental 2	38	18	12	456	58,580	124.4	71.08
Bloquera Teotihuacán 1	38	18	12	456	35,240	74.91	42.8
Bloquera Teotihuacán 2	38	18	12	456	33,720	71.63	40.93
Bloquera Ecatepec	38	18	12	456	26,340	55.95	31.97

¹⁶⁴ NMX-C-036-ONNCCE-. (2013). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – MAMPOSTERÍA – RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES Y ADOQUINES – MÉTODO DE ENSAYO. ONNCCE, S. C., MMXIII.

CAPÍTULO 5 Factibilidad económica y competitividad en el mercado

5.1 F.S.R del personal operativo de la fabricación de los bloques con RDC y MB.

Para determinar el precio de fabricación de cada una de las mezclas trabajadas se calculó el costo de la mano de obra encargada de la operación de la maquina bloquera y la revolvedora de agregados RDC¹⁶⁵ Y MB¹⁶⁶, así como del personal que se encargó del acomodo de los bloques fabricados, para la fabricación de los bloques se incluye un operador para la maquina bloquera, un ayudante especializado para operar y abastecer de materiales la revolvedora, se necesitan 2 ayudantes para acomodar los bloques uno acomoda en el área donde reposan los bloques frescos y otro se encarga de acomodar los bloques secos en el área de almacenado, se incluyen esta cantidad de personal debido a que se observó esta cantidad de personal que se encargaba de producir y operar la bloquera que nos ayudó a elaborar los especímenes de ensaye.

- Salario nominal operador de maquinaria medio (operador de la bloquera): \$430
- Salario nominal ayudante general (Acomodador de block): \$310
- Salario nominal ayudante especializado (Operador de la revolvedora): \$360
- Salario nominal Cabo de oficios (Supervisor y administrador): \$570
- Salario mínimo en la ciudad de México S.M.: \$207.44
- Unidad de Media Actualizada U.M.A: \$103.74

Días realmente pagados al año: 383

- Días calendario: 365
- Días de aguinaldo: 15 - Artículo 87, ley federal del trabajo¹⁶⁷
- Días por prima vacacional: 3 - Artículo 80, ley federal del trabajo

Días no laborados al año: 85

- Días domingo: 52
- Días de vacaciones: 12 - Artículo 76, ley federal del trabajo

¹⁶⁵Residuo de Demolición y Construcción.

¹⁶⁶Material de Banco.

¹⁶⁷ LEY FEDERAL DEL TRABAJO, (1970-2015) (Congreso de Los Estados Unidos Mexicanos).

- Días lunes: 3
- Días festivos por ley: 7 - Artículo 74, ley federal del trabajo
- Días perdidos por condiciones de clima (lluvia y otros): 2
- Días por costumbre locales: 6
- Días por permisos y enfermedad no profesional: 3
- Días por sindicato (contrato colectivo): 0

Total, de Días Realmente Laborados al año (D.cal) - (D.no.lab) = (365-85) = 280

Días Realmente Pagados/Días Realmente Laborados Tp/TI= (383/280) = 1.3678

Factor de Salario Base de Cotización (tp-te) / D.cal para cálculo de IMSS= (383/365) = 1.049

Salario Base de Cotización= F.S.B.C*Salario Nominal

- S.B.C Operador. Maquinaria medio = (\$430*1.049) = \$451.07
- S.B.C ayudante General = (\$310*1.049) = \$325.19
- S.B.C Ayudante Especializado = (\$360*1.049) = \$377.64
- S.B.C Cabo de Oficios = (\$570*1.049) = \$597.93

Riesgo de trabajo 7.58875% - Artículo 73 Ley del Seguro Social¹⁶⁸, clase V de primas de riesgo= S.B.C*7.58875%

- Operador. Maquinaria medio = \$451.07*7.58875% = \$34.23
- Ayudante General = \$325.19*7.58875% = \$24.67
- Ayudante Especializado = \$377.64*7.58875% = \$28.65
- Cabo de Oficios = \$597.93*7.58875% = \$45.37

Prestaciones del IMSS

Cuota fija 20.4% = Unidad de Medida y Actualización U.M.A (\$103.74 - 2023 CDMX) *20.4%

- Operador. Maquinaria medio = (\$103.74*20.4%) /100 = 21.16
- Ayudante General = (\$103.74*20.4%) /100 = 21.16

¹⁶⁸ LEY DEL SEGURO SOCIAL, (1995-2023) (Congreso de Los Estados Unidos Mexicanos.).

- Ayudante Especializado = $(\$103.74 * 20.4\%) / 100 = 21.16$
- Cabo de Oficios = $(\$103.74 * 20.4\%) / 100 = 21.16$

Excedente de tres salarios mínimos 103.74*3 U.M.A = \$311.22-S.B.C

- Operador. Maquinaria medio = $(\$451.07 - \$311.22) = \$139.85$
- Ayudante General = $(\$325.19 - \$311.22) = \$13.97$
- Ayudante Especializado = $(\$377.64 - \$311.22) = \$66.42$
- Cabo de Oficios = $(\$597.93 - \$311.22) = \$286.71$

Aplicación IMSS¹⁶⁹ al excedente 1.1%*Excedente 3 U.M.A

- Operador. Maquinaria medio = $(\$139.85 * 1.1\%) / 100 = 1.538\%$
- Ayudante General = $(\$13.97 * 1.1\%) / 100 = 0.154\%$
- Ayudante Especializado = $(\$66.42 * 1.1\%) / 100 = 0.731\%$
- Cabo de Oficios = $(\$286.71 * 1.1\%) / 100 = 3.154\%$

Prestaciones en dinero 0.7%*S.B.C

- Operador. Maquinaria medio = $(\$451.07 * 0.7\%) / 100 = 3.157$
- Ayudante General = $(\$325.19 * 0.7\%) / 100 = 2.276$
- Ayudante Especializado = $(\$377.64 * 0.7\%) / 100 = 2.643$
- Cabo de Oficios = $(\$597.93 * 0.7\%) / 100 = 4.185$

Gastos médicos pensionados 1.05%*S.B.C

- Operador. Maquinaria medio = $(\$451.07 * 1.05\%) / 100 = 4.736$
- Ayudante General = $(\$325.19 * 1.05\%) / 100 = 3.414$
- Ayudante Especializado = $(\$377.64 * 1.05\%) / 100 = 3.965$
- Cabo de Oficios = $(\$597.93 * 1.05\%) / 100 = 6.278$

Invalidez y vida 1.75%*S.B.C

- Operador. Maquinaria medio = $(\$451.07 * 1.75\%) / 100 = 7.894$
- Ayudante General = $(\$325.19 * 1.75\%) / 100 = 5.691$
- Ayudante Especializado = $(\$377.64 * 1.75\%) / 100 = 6.609$

¹⁶⁹ LEY DEL SEGURO SOCIAL, (1995-2023) (Congreso de Los Estados Unidos Mexicanos).

- Cabo de Oficios = $(\$597.93 * 1.75\%) / 100 = 10.464$

Retiro (Sar) 2%*S.B.C

- Operador. Maquinaria medio = $(\$451.07 * 2\%) / 100 = 9.021$
- Ayudante General = $(\$325.19 * 2\%) / 100 = 6.504$
- Ayudante Especializado = $(\$377.64 * 2\%) / 100 = 7.553$
- Cabo de Oficios = $(\$597.93 * 2\%) / 100 = 11.959$

Cesantía en edad avanzada y vejez 3.15%*S.B.C

- Operador. Maquinaria medio = $(\$451.07 * 3.15\%) / 100 = 14.209$
- Ayudante General = $(\$325.19 * 3.15\%) / 100 = 10.243$
- Ayudante Especializado = $(\$377.64 * 3.15\%) / 100 = 11.897$
- Cabo de Oficios = $(\$597.93 * 3.15\%) / 100 = 18.835$

Guarderías y Prestaciones sociales 1%*S.B.C

- Operador. Maquinaria medio = $(\$451.07 * 1\%) / 100 = 4.511$
- Ayudante General = $(\$325.19 * 1\%) / 100 = 3.252$
- Ayudante Especializado = $(\$377.64 * 1\%) / 100 = 3.776$
- Cabo de Oficios = $(\$597.93 * 1\%) / 100 = 5.979$

INFONAVIT 5%¹⁷⁰*S.B.C

- Operador. Maquinaria medio = $(\$451.07 * 5\%) / 100 = 22.554$
- Ayudante General = $(\$325.19 * 5\%) / 100 = 16.260$
- Ayudante Especializado = $(\$377.64 * 5\%) / 100 = 18.882$
- Cabo de Oficios = $(\$597.93 * 5\%) / 100 = 29.897$

Suma prestaciones S.P

Operador. Maquinaria medio = $\$34.23 + \$21.16 + \$1.538 + \$3.157 + \$4.736 + \$7.894 +$
 $\$9.021 + \$14.209 + \$4.511 + \$22.554 = \$123.01$

¹⁷⁰ INFONAVIT, (2023) (El Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores).

$$\text{Ayudante General} = \$24.67 + \$21.16 + \$0.154 + \$2.276 + \$3.414 + \$5.691 + \$6.504 + 10.243 + 3.252 + 16.260 = \$93.624$$

$$\text{Ayudante Especializado} = \$28.65 + \$21.16 + \$0.731 + \$2.643 + \$3.965 + \$6.609 + \$7.553 + \$11.897 + \$3.776 + \$18.892 = \$105.876$$

$$\text{Cabo de Oficios} = \$45.37 + \$21.16 + \$3.154 + \$4.185 + \$6.278 + \$10.464 + \$11.959 + \$18.835 + \$5.979 + \$29.897 = \$157.28$$

Obligación Obrero - Patronal S.P/S.B.C

- Operador. Maquinaria medio = $\$123.01 / \$451.07 = 0.2727$
- Ayudante General = $\$93.624 / \$325.19 = 0.2879$
- Ayudante Especializado = $\$105.876 / \$377.64 = 0.2803$
- Cabo de Oficios = $\$157.281 / \$597.93 = 0.2630$

El factor de salario real se obtiene con los valores obtenidos del cálculo 5.1 del presente capítulo principalmente con la división de los días realmente pagados entre los días realmente laborados, valor al que se le suman el producto de las cuotas obrero patronal que a su vez multiplica la división de los días realmente pagados entre los días realmente laborados, el cálculo del F.S.R de cada trabajador se puede ver en la tabla 61.

Tabla 61. Cálculo del Factor de Salario Real F.S.R

Trabajador	Salario Nominal	Tp/Tl	Obligación Obrero Patronal Ps= IMSS ¹⁷¹ e INFONAVIT ¹⁷²	Ps x (Tp/Tl)	F.S.R = Ps (Tp / Tl) + (Tp/Tl)
Cabo de Oficios	570	1.3678	0.2630	0.3597	1.7275
Operador. Maquinaria medio	430	1.3678	0.2727	0.3729	1.7407
Ayudante Especializado	360	1.3678	0.2803	0.3833	1.7511
Ayudante General	310	1.3678	0.2879	0.3937	1.7615

El salario real se obtiene del producto del salario nominal por el factor de salario real, cada factor de salario real es diferente uno del otro debido al salario nominal que cada uno de los trabajadores de la planta perciben, el Salario Real de cada empleado se puede ver en la tabla 62.

¹⁷¹ LEY DEL SEGURO SOCIAL, (1995-2023) (Congreso de Los Estados Unidos Mexicanos).

¹⁷² INFONAVIT, (2023) (El Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores).

Tabla 62. Salario Real del personal en planta

No	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍA	SALARIO NOMINAL Sn	FACTOR DE SALARIO BASE COTIZACIÓN	FACTOR DE SALARIO REAL	SALARIO REAL
1	AYUDANTE GENERAL	\$310	1.049	1.7615	\$547.92
2	AYUDANTE ESPECIALIZADO	\$360	1.049	1.7511	\$630.40
3	OPERADOR DE MAQUINARÍA MEDIO	\$430	1.049	1.7407	\$748.50
4	CABO DE OFICIOS	\$570	1.049	1.7275	\$984.67

5.2 Análisis, cálculo e integración de los costos horarios de la maquinaria y equipo para Fabricar bloques de concreto RDC¹⁷³ y MB¹⁷⁴.

Para la fabricación de los bloques se usó una maquina marca MAQNEA¹⁷⁵, modelo S-10 de la cual se determinó calculo el costo horario de la maquina considerando los valores que se incluyen en la tabla 62 de datos generales del equipo (figura 105).

Descripción del equipo: Máquina para la elaboración de bloques de operación manual con motor trifásico de 2 HP, con 2 moldes para fabricar block macizo de 12 cm x 20 cm x 40 cm, ancho X alto X largo, con una producción media de 1500 piezas por jornada de 8 horas, el cálculo del costo horario del equipo se puede ver en la tabla 63.



Figura 105. Máquina bloquera con la que se fabricó el bloque de concreto (maaqnea.com).

¹⁷³ Residuo de Demolición y Construcción.

¹⁷⁴ Material de Banco.

¹⁷⁵ maqnea.com. (2023). maqnea

Tabla 63. Costo horario de la máquina bloquera

1. Datos Generales.	
Valor de adquisición: \$90,000 Precio juego llantas (pn): No aplica Equipo adicional: No aplica Vida económica de llantas (juego) (vn): No aplica Precio piezas especiales (pe): No aplica Vida económica pizas especiales (va): No aplica Valor de la maquina (vm): \$90,000 % de rescate: 20 % Valor de rescate (vr): \$18,000 Tasa de interés anual (i): 16% Prima anual promedio de seguros (s): 2% Salario real del operador (s): No aplica Costo por salario de operación (po): No aplica Horas efectivas de trabajo por turno (ht): 6.4 horas Tiempo entre cambio de lubricante (ca): No aplica	Horas por año (hea): 2000 horas Vida económica (ve): 10000 horas Potencia nominal: 5 HP Potencia eléctrica: 3.73 kw Potencia de operación (po): 3.6 kw Factor de mantenimiento (Q): 80% Coeficiente combustible (fc): 1 Coeficiente lubricante (fa): No aplica Capacidad del carter (cc): No aplica Factor de rendimiento (fr): No aplica Cons entre cam de lub (ga= cc/ca): No aplica Costo de combustible (Cc): \$0.945
2. Cargos fijos.	
a) Depreciación: $D=(Vm-Vr)/Ve = (\$90,000 - \$18,000)/10000 \text{ hrs} = \7.2 b) Inversion: $I=(Vm+Vr) *i/2Hea = ((\$90,000+\$18,000)/2(2000 \text{ hrs})) *0.16 = \4.32 c) Seguros: $S=(Vm+Vr) *s/2Hea = ((\$90,000+\$18,000)/2(2000 \text{ hrs})) *0.02 = \0.54 d) Mantenimiento: $M=QD = 0.8*\$7.2 = \5.76	
Suma de cargos fijos = \$17.82	
3. Cargos por consumo	
Energía eléctrica= $Po*pc*CC.=3.6*1*0.945 = \3.402	
4. Cargos por operación	
Operación = $(S.N*F.S. R) / (\text{turno}*eficiencia \text{ operador})$ S.N (operador de la bloquera) = $(\$430*1.7407) / (8\text{hrs}*0.8) = \116.95 S.N ayudante general (Acomodador de block) = $(\$310*1.7615) / (8\text{hrs}*0.8) = \85.32 S.N ayudante general (Acomodador de block) = $(\$310*1.7615) / (8\text{hrs}*0.8) = \85.32 S.N Cabo de oficios = $(\$570*1.7275) / (8\text{hrs}*0.8) *(0.33) = \50.33	
Cargos por Operación = \$337.92	
Costo horario de la maquina MAQNEA S-10 = \$17.82+ \$3.402 + \$337.92 = \$359.142	

Para la hacer la mezcla con la que se fabricaron los bloques se usó una maquina revoladora marca MAQNEA¹⁷⁶, de la cual se determinó el costo horario de la maquina considerando los valores que se incluyen en la tabla 63 de datos generales del equipo (figura 106).

Descripción del equipo: Máquina para la elaboración de mezclas de concreto, de operación manual con motor trifásico de 10 HP, con una capacidad de cucharon de 300 litros, con una

¹⁷⁶ maqnea.com. (2023). maqnea

producción media de 1500 piezas por jornada de 8 horas, el cálculo del costo horario del equipo se puede ver en la tabla 64.



Figura 106. Revolvedora, las mezclas se elaboraron a mano, pero para fines de fabricación semi-industrializada se cotizo una revolvedora(maqnea.com).

Tabla 64. Costo horario de la revolvedora

1. Datos Generales.	
Valor de adquisición: \$90,000 Precio juego llantas (pn): No aplica Equipo adicional: No aplica Vida económica de llantas (juego) (vn): No aplica Precio piezas especiales (pe): No aplica Vida económica pizas especiales (va): No aplica Valor de la maquina (vm): \$90,000 % de rescate: 20 % Valor de rescate (vr): \$18,000 Tasa de interés anual (i): 16% Prima anual promedio de seguros (s): 2% Salario real del operador (s): No aplica Costo por salario de operación (po): No aplica Horas efectivas de trabajo por turno (ht): 6.4 horas Tiempo entre cambio de lubricante (ca): No aplica	Horas por año (hea): 2000 horas Vida económica (ve): 10000 horas Potencia nominal: 10 HP Potencia eléctrica: 7.457 kw Potencia de operación (po): 6.7113 kw Factor de mantenimiento (Q): 80% Coeficiente combustible (fc): 1 Coeficiente lubricante (fa): No aplica Capacidad del carter (cc): No aplica Factor de rendimiento (fr): No aplica Cons entre cam de lub (ga= cc/ca): No aplica Costo de combustible (Cc): \$0.945
2. Cargos fijos.	
e) Depreciación: $D = (Vm - Vr) / Ve = (\$90,000 - \$18,000) / 10000 \text{ hrs} = \7.2 f) Inversión: $I = (Vm + Vr) * i / 2Hea = ((\$90,000 + \$18,000) / 2(2000 \text{ hrs})) * 0.16 = \4.32 g) Seguros: $S = (Vm + Vr) * s / 2Hea = ((\$90,000 + \$18,000) / 2(2000 \text{ hrs})) * 0.02 = \0.54 h) Mantenimiento: $M = QD = 0.8 * \$7.2 = \5.76 Suma de cargos fijos = \$17.82	
3. Cargos por consumo	
Energía eléctrica= $Po * fc * Cc = 6.7113 * 1 * 0.945 = \6.342	
4. Cargos por operación	
Operación = $(S.N * F.S. R) / (\text{turno} * \text{eficiencia operador})$ S.N A. Especializado (Op. de la revolvedora): $(\$360 * 1.7511) / (8\text{hrs} * 0.8) = \98.499 S.N Cabo de oficios = $(\$570 * 1.7275) / (8\text{hrs} * 0.8) * (0.33) = \50.33 Costo por operación = $\$98.449 + \$50.33 = \$148.829$	
Costo horario de la maquina revolvedora MAQNEA = \$17.82 + \$6.342 + \$148.829 = \$172.991	

5.3 Costo de transporte del block al primer km y los km subsecuentes.

Para determinar el costo de reparto de las piezas se utilizó un camión torton con plataforma de carga con capacidad de 17 toneladas capaz de transportar hasta 1100 piezas por viaje el costo horario del camión se puede ver en la tabla 65, el análisis de costo horario se llevó a cabo para conocer el costo de transporte por cada pieza al primer kilómetro y el costo a los kilómetros subsecuentes.

Descripción del equipo: Camión plataforma con plataforma de descarga para el transporte de los bloques a punto de venta, el precio de mostrador del bloque incluye transporte al primer kilómetro, el P.U se puede ver en la tabla 66.

Tabla 65. Costo horario del camión plataforma para el acarreo del block

1. Datos Generales.	
Precio de adquisición \$1,810,000	Vida económica años: 5
Precio juego llantas (pn) \$89,900	Horas por año (hea): 2000 hrs
Equipo adicional: plataforma	Vida económica (ve): 10000 hrs
Vida económica de llantas (juego) (vn)3500.00 hrs	Costo combustible (pc): \$23.83 /lts
Precio pzas especiales (pe) \$30,000	Costo lubricante (pa): \$205.1/lts
Vida económica pzas espec (va) 10000.00hrs	Potencia nominal: 280 hp
Valor de la maquina (vm) \$1,1720,100	Factor de operación (fo): 0.8
% de rescate 20%	Potencia de operación (pop): 224
Valor de rescate (vr) \$344020	Factor de mantenimiento (ko): 80%
Tasa de interés anual (i) 16.0%	Coeficiente combustible (fc): 0.2
Prima anual promedio de seguros (s)2.0%	Coeficiente lubricante (fa): 0.0035
Salario real del operador (s) \$748.501	Capacidad del carter (cc): 8 lts
Costo por salario de operación (po) \$98.562	Factor de rendimiento (fr): 0.8
Horas efectivas de trabajo por turno (ht) 8.00 hrs	Cons entre cambio de lub (ga=cc/ca): 0.08
Tiempo entre cambio de lubricante (ca) 100.00 hrs	
2. Cargos fijos.	
a) Depreciación: $D = (Vm - Vr) / Ve = (\$1,720,100 - \$344,020) / 10000 \text{ hrs} = \137.61	
b) Inversión: $I = (Vm + Vr) * i / 2Hea = ((\$1,720,100 + \$344,020) / 2(2000 \text{ hrs})) * 0.16 = \82.56	
c) Seguros: $S = (Vm + Vr) * s / 2Hea = ((\$1,720,100 + \$344,020) / 2(2000 \text{ hrs})) * 0.02 = \10.32	
d) Mantenimiento: $M = QD = 0.8 * \$137.61 = \110.09	
Suma de cargos fijos = \$340.58	
3. Cargos por consumo	
a). Combustible $co = fc * pop * pc = (0.2 * 224 \text{ HP} * \$23.83) = \$1067.58$	
b). Otras fuentes de energía = No aplica	
c). Lubricante $lb = ((fa * pop) + cc/ca) * pa = ((0.0035 * 224 \text{ HP}) + 8/100) * \$205.1 = \$177.21$	
d). Llantas $n = pn/vn (\$89900/3500 \text{ hrs}) = \25.67	
e). Piezas especiales $ae = pe/va = \$30,000 / 10000 \text{ hrs} = \3	
f). Otros consumos = No aplica	
Suma de cargos por consumo = \$1273.45	
4. Cargos por operación	
Operación = $(S.N * F.S. R) / (\text{turno} * \text{eficiencia operador})$	
$S.N (\text{operador de Camión de reparto}) = (\$430 * 1.7407) / (8\text{hrs} * 0.8) = \116.95	

S.N ayudante general (Acomodador de block) = $(\$310 * 1.7615) / (8\text{hrs} * 0.8) = \85.32

S.N Cabo de oficios = $((\$570 * 1.7275) / (8\text{hrs} * 0.8)) * (0.33) = \50.33

Suma de cargos por operación = **\$252.6**

Costo horario del camión plataforma = \$252.6 + \$1273.45 + \$340.58 = \$1866.63

Tabla 66. Análisis de precios unitarios para el acarreo del bloque

CLAVE	AC-01	UNIDAD	KILÓMETRO	PRECIO	\$1.16	
Descripción	COSTO POR PIEZA DE BLOCK TRANSPORTADA AL PRIMER KILÓMETRO					
PERSONAL PARA TRANSPORTE AL PRIMER KILÓMETRO						
CODIGO	CONCEPTO	UNIDAD	SALARIO REAL	COSTO POR HORA S.R	RENDIMIENTO DEL CAMION POR HORA	IMPORTE
MO-OPPL	CABO DE OFICIOS (OPERADOR DE LA PLANTA)	Jor	\$984.68	\$50.77	1,600.00	0.03
MO-CAM-1	OPERADOR DE MAQUINARIA MEDIO (OPERADOR CAMIÓN)	Jor	\$748.5	\$116.95	1,600.00	0.07
MO-CAM-2	AYUDANTE GENERAL (ACOMODADOR DE BLOCK DEL CAMIÓN)	Jor	\$546.07	\$85.32	1,600.00	0.05
SUBTOTAL DE MANO DE OBRA:						\$0.16
EQUIPO Y HERRAMIENTA		Unidad			CANTIDAD	Importe
%MO1	Herramienta menor	%	\$0.16		0.0300	\$0.005
%MO2	Equipo de seguridad	%	\$0.16		0.0300	\$0.005
SUBTOTAL HERAMIENTA PEQUEÑA Y EQUIPO DE SEGURIDAD PERSONAL:						\$0.01
MAQUINARIA PARA TRANSPORTARLO AL PRIMER KILOMETRO.		Unidad	COSTO HORARIO	COSTO JORNADA 8 HRS	RENDIMIENTO POR TURNO	Importe
CAM-PLAT	CAMIÓN PLATAFORMA RENDIMIENTO POR HORA DE 1600 PZ AL PRIMER KM	Hr	\$ 1,614.06	\$ 12,912.45	12,800	1.01
SUBTOTAL DE MAQUINARIA:						\$1.01
COSTO DIRECTO POR PIEZA:						\$1.16

Acarreo al primer kilómetro con un tiempo de 2.5 minutos carga y 2.5 minutos de descarga, capacidad de 6 tarimas de 167 bloques por tarima, una velocidad de 40 km/hr de ida y 60 km/hr regreso.

- Tiempo de carga = (2.5 min*6 tarimas) = 15 minutos.
- Tiempo de ida = (1er km/ velocidad ida 40 km/hr) (60 min/1 hr) = 1.5 minutos.
- Tiempo de descarga = (2.5 min*6 tarimas) = 15 minutos.
- Tiempo de regreso = (1er km/ velocidad ida 60 km/hr) (60 min/1 hr) = 1 minutos.
- Tiempo de maniobras 5 minutos.
- Tiempo total al primer kilómetro = 37.5 minutos un ciclo al primer kilómetro.
- Blocks acarreados por ciclo = 1000 pz (60 min /1 hr) (37.5 min/ciclo 1er km) = 1600 pz/hr

Costo por bloque al 1er km=Costo hrio / pz acarreadas por hora=\$1866.63 / 1600 pc/ha.

Costo por bloque al 1er km = **\$1.16 pz**

Costo adicional del km subsecuente por cada pieza transportada.

- Vel ida 40 km/hr = costo horario / vel ida = \$1866.63 / 40 km/hr = \$46.66 km
- Vel reg 60 km/hr = costo horario / vel ida = \$1866.63 / 60 km/hr = \$31.11 km

Costo de bloque por km subsecuente = (\$46.66 km + \$31.11 km) / 1000 pizas

El costo adicional por cada kilómetro que se transporten los bloques tiene un costo de **\$0.077** por pieza, por cada kilómetro subsecuente.

5.4 Costo de los materiales para la elaboración del bloque mezcla 4 resistencia 150 kg/cm².

Costo de los agregados para la fabricación de todos los bloques, incluye cemento, grava RDC¹⁷⁷, grava MB¹⁷⁸, arena RDC, arena MB, Agua y aditivo fluidificante reductor de agua.

- Costo de Cemento = \$210 bulto de 50 kilos
- Costo de Grava RDC = \$139.2 m³ RDC
- Costo de Arena RDC = \$155 m³
- Costo de Agua = \$15.52 L
- Costo de aditivo fluidificante reductor de agua = \$0.16 gr

Costo de los agregados y materiales necesarios para la fabricación de un bloque correspondiente a la Mezcla 4 50% RDC y 50% MB se puede ver en la tabla 67.

Tabla 67. Costo de materiales para fabricar un bloque Mezcla-4-150

Agregados	Costo \$	Peso material	Costo	Material para 1 bloque	Total
Cemento	\$210 bulto	50 kg	\$4.2 kg	1.82 kg	\$7.644
Grava 3/8" RDC	\$155 m ³	1650 kg/m ³	\$0.09 kg	1.77 kg	\$0.1593
Grava MB	\$430 m ³	1650 kg/m ³	\$0.26 kg	5.32 kg	\$1.3832
Arena RDC	\$139.2 m ³	1650 kg/m ³	\$0.08 kg	8.53 kg	\$0.6824
Arena MB	\$370 m ³	1650 kg/m ³	\$0.22 kg	0.73 kg	\$0.1606
Agua	\$15 m ³	1 m ³	\$0.015 lt	1.60 lt	\$0.024
Aditivo	\$52500 m ³	1 m ³	\$0.05 ml	25 ml	\$1.25
Costo de material para fabricar un bloque 100% RDC mezcla 4 resistencia 150 kg/cm ²					\$10.64 c/u

¹⁷⁷ Residuo de Demolición y Construcción.

¹⁷⁸ Material de Banco.

5.5 Costo de fabricación del bloque

Análisis de precios unitarios correspondiente a la Mezcla-4-150 50% RDC¹⁷⁹- 50% MB¹⁸⁰, incluye materiales, mano de obra, maquinaria y equipo, se puede ver en la tabla 68.

Tabla 68. Análisis de precios unitarios para fabricar un bloque M-4-150 50%RDC-50%MB

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
CLAVE	PRODUCCIÓN DEL BLOQUE	UNIDAD	Pieza.	PRECIO	\$13.47	
Descripción	COSTO POR PIEZA DE BLOCK ELABORADA CON 50% RDC Y 50% MB M4-150					
Código	Concepto	Unidad	P. U TON/M3	PU	Cantidad	Importe
MATERIALES NECESARIOS PARA FABRICAR 1 BLOQUE						
CEM	CEMENTO POR PZA KG	KG	4200.00	\$ 4.20	1.82	\$ 7.65
GB	GRAVA RDC POR PZA KG	KG	155.00	\$ 0.09	1.78	\$ 0.17
GB	GRAVA MB KG	KG	430.00	\$ 0.26	5.33	\$ 1.39
AA	ARENA RDC KG	KG	139.20	\$ 0.08	7.11	\$ 0.60
AB	ARENA MB KG	KG	370.00	\$ 0.22	0.13	\$ 0.03
AD	ADITIVO FLUIDIFICANTE SIKAMENT-100MX 25ML POR KG DE CEMENTO	KG	52500.00	\$ 0.05	25.0	\$ 1.31
U	AGUA 1.6 LT	KG	15.52	\$ 0.02	1.60	\$ 0.02
SUBTOTAL DE MATERIALES:						\$11.17
MANO DE OBRA PARA FABRICAR 1 BLOQUE RDC						
		Unidad	JORNADA S.R.	RENDIMIENTO O POR TURNO	CANTIDAD	Importe
MO-OPBL-1	OPERADOR DE MAQUINARIA MEDIO (BLOQUERA)	Jor	\$748.50	1600	1.00	0.47
MO-AYPBL-2	AYUDANTE GENERAL (ACOMODADOR DE BLOCK)	Jor	\$546.07	1600	1.00	0.34
MO-AYPBL-2	AYUDANTE GENERAL (ACOMODADOR DE BLOCK)	Jor	\$546.07	1600	1.00	0.34
MOOPM-1	AYUDANTE ESPECIALIZADO (OPERADOR DE LA MEZCLADORA)	Jor	\$630.40	1600	1.00	0.39
MO-OPPL	CABO DE OFICIOS (OPERADOR DE LA PLANTA)	Jor	\$984.68	1600	0.67	0.41
SUBTOTAL DE MANO DE OBRA:						\$1.95
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
		Unidad			CANTIDAD	Importe
%MO1	Herramienta menor	%	\$1.95		0.0300	\$0.06
%MO2	Equipo de seguridad	%	\$1.95		0.0300	\$0.06
SUBTOTAL HERAMIENTA PEQUEÑA Y EQUIPO DE SEGURIDAD PERSONAL:						\$0.12
MAQUINARIA PARA FABLICAR 1 BLOQUE.						
		Unidad	COSTO HORARIO	COSTO JORNADA 8 HRS	RENDIMIEN TO POR TURNO	Importe
BLOK MAQ	BLOQUERA MAQNEA S-10	Hr	\$ 21.22	\$ 169.78	1,600	0.11
REV-ELE	REVOLVEDORA ELECTRICA MAQNEA	Hr	\$ 24.16	\$ 193.30	1,600	0.12
SUBTOTAL DE MAQUINARIA:						\$0.23
COSTO DIRECTO POR PIEZA:						\$13.47

¹⁷⁹ Residuo de Demolición y Construcción.

¹⁸⁰ Material de Banco.

Análisis de precios unitarios correspondiente a la Mezcla-10-150 100% RDC¹⁸¹, incluye materiales, mano de obra, maquinaria y equipo se puede ver en la tabla 69.

Tabla 69. Análisis de precios unitarios para la fabricación de un bloque M-10-150

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
CLAVE	PRODUCCIÓN DEL BLOQUE	UNIDAD	Pieza.	PRECIO	\$12.55	
Descripción	COSTO POR PIEZA DE BLOCK M-10-150 CON 100% RDC CON ADITIVO FLUIDIFICANTE					
Código	Concepto	Unidad	P. U TON/M3	PU	Cantidad	Importe
MATERIALES NECESARIOS PARA FABRICAR 1 BLOQUE						
CEM	CEMENTO POR PZA 1.82 KG	KG	\$ 4,200.00	\$ 4.20	1.82	\$ 7.65
GB	GRAVA RDC POR PZA 5.81 KG	KG	\$ 155.00	\$ 0.09	5.81	\$ 0.55
AA	ARENA RDC 8.53 KG	KG	\$ 139.20	\$ 0.08	8.53	\$ 0.72
AD	ADITIVO FLUIDIFICANTE SIKAMENT-100MX 25ML POR KG DE CEMENTO	KG	\$ 52,500.00	\$ 0.05	25.0	\$ 1.31
U	AGUA 1.6 LT	KG	\$ 15.52	\$ 0.02	1.60	\$ 0.02
SUBTOTAL DE MATERIALES:						\$10.25
MANO DE OBRA PARA FABRICAR 1 BLOQUE RDC		Unidad	JORNADA S.R.	RENDIMIENTO POR TURNO	CANTIDAD	Importe
MO-OPBL-1	OPERADOR DE MAQUINARIA MEDIO (BLOQUERA)	Jor	\$748.50	1600	1.00	\$ 0.47
MO-AYPBL-2	AYUDANTE GENERAL (ACOMODADOR DE BLOCK)	Jor	\$546.07	1600	1.00	\$ 0.34
MO-AYPBL-2	AYUDANTE GENERAL (ACOMODADOR DE BLOCK)	Jor	\$546.07	1600	1.00	\$ 0.34
MOOPM-1	AYUDANTE ESPECIALIZADO (OPERADOR DE LA MEZCLADORA)	Jor	\$630.40	1600	1.00	\$ 0.39
MO-OPPL	CABO DE OFICIOS (OPERADOR DE LA PLANTA)	Jor	\$984.68	1600	0.67	\$ 0.41
SUBTOTAL DE MANO DE OBRA:						\$1.95
EQUIPO Y HERRAMIENTA		Unidad			CANTIDAD	Importe
%MO1	Herramienta menor	%	\$ 1.95		0.0300	\$ 0.06
%MO2	Equipo de seguridad	%	\$ 1.95		0.0300	\$ 0.06
SUBTOTAL HERAMIENTA PEQUEÑA Y EQUIPO DE SEGURIDAD PERSONAL:						\$0.12
MAQUINARIA PARA FABLICAR 1 BLOQUE.		Unidad	COSTO HORARIO	COSTO JORNADA 8 HRS	RENDIMIENTO POR TURNO	Importe
BLOK MAQ	BLOQUERA MAQNEA S-10	Hr	\$ 21.22	\$ 169.78	1,600	0.11
REV-ELE	REVOLVEDORA ELECTRICA MAQNEA	Hr	\$ 24.16	\$ 193.30	1,600	0.12
SUBTOTAL DE MAQUINARIA:						\$0.23
COSTO DIRECTO POR PIEZA:						\$12.55

¹⁸¹ Residuo de Demolición y Construcción.

Se llevó a cabo el análisis de precios por unidad fabricada con cada una de las mezclas trabajadas en la investigación, para conocer el costo de fabricación de cada una de las mezclas trabajadas, unas con 100% RDC¹⁸² y mezclas con agregados de RDC y MB¹⁸³, los costos de cada una de las mezclas se pueden ver en la tabla 70, por tratarse de un producto de venta a mostrador los precios ya incluyen I.V.A.

Tabla 70. Costo de cada una de las mezclas Trabajadas

MEZCLA	COMPONENTES	Costo en pesos mexicanos \$	Costo en dólar \$ USD 20/09/23	Resistencia promedio f_p 150 kg/cm ²	Resistencia a compresión de la pieza f_p 100 kg/cm ²
M1-100	100% R.D.C SIN ADITIVOS	\$ 9.18	\$ 0.54	71.876	41.072
M2-150	100% R.D.C SIN ADITIVOS	\$ 11.24	\$0.66	94.288	53.878
M3-210	100% R.D.C SIN ADITIVOS	\$ 13.71	\$0.81	128.92	73.668
M4-150	50% R.D.C-50% M.B Y FLUIDIFICANTE	\$ 13.47	\$0.79	177	101.14
M5-150	30% R.D.C-70% M.B Y FLUIDIFICANTE	\$ 13.97	\$0.82	225.53	129.49
M6-210	50% R.D.C-50% M.B Y FLUIDIFICANTE	\$ 15.75	\$0.93	196.5	112.28
M7-210	30% R.D.C-70% M.B Y FLUIDIFICANTE	\$ 16.31	\$0.96	271.57	155.18
M8-210	20% R.D.C-80% M.B Y FLUIDIFICANTE	\$ 16.63	\$0.98	266.03	152.01
M9-270	16% R.D.C-84% M.B Y FLUIDIFICANTE	\$ 19.74	\$1.16	347.8	198.74
M10-150	100% R.D.C Y FLUIDIFICANTE	\$ 12.55	\$0.74	181.03	103.45

¹⁸²Residuo de Demolición y Construcción.

¹⁸³Material de Banco.

5.6 Competitividad y factibilidad de mercado de las mezclas

Se hizo un estudio de mercado de diferentes casas de materiales y tiendas departamentales de la Ciudad de México, para conocer la factibilidad económica de nuestro bloque como se muestra en la figura 107 y 108 respectivamente, los precios del estudio de mercado ya incluyen I.V.A.

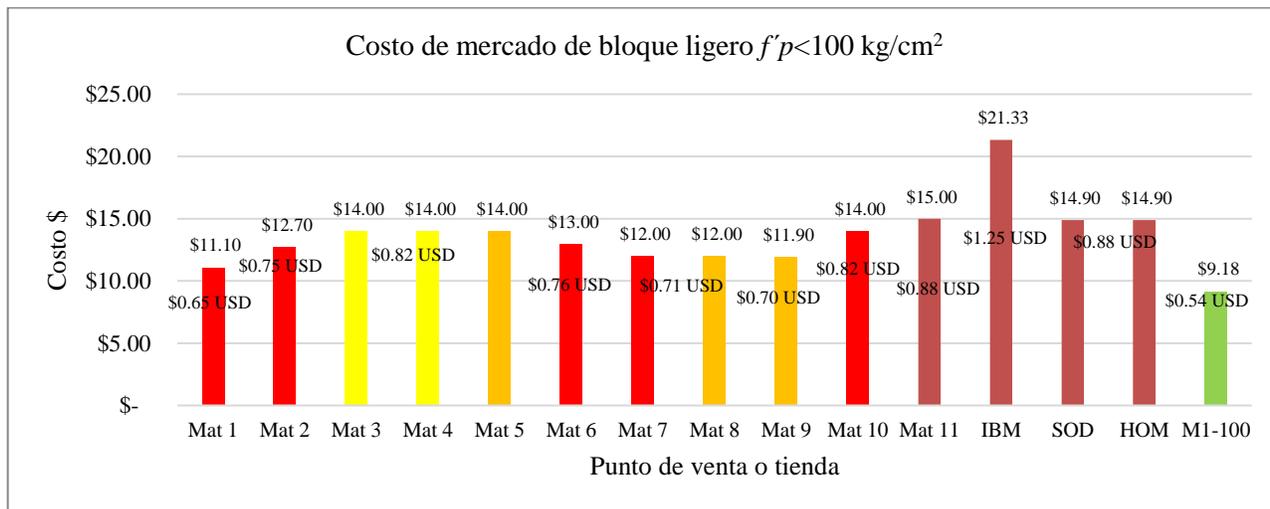


Figura 107. Comparación del bloque ligero RDC y su factibilidad en el mercado (Fuente propia).

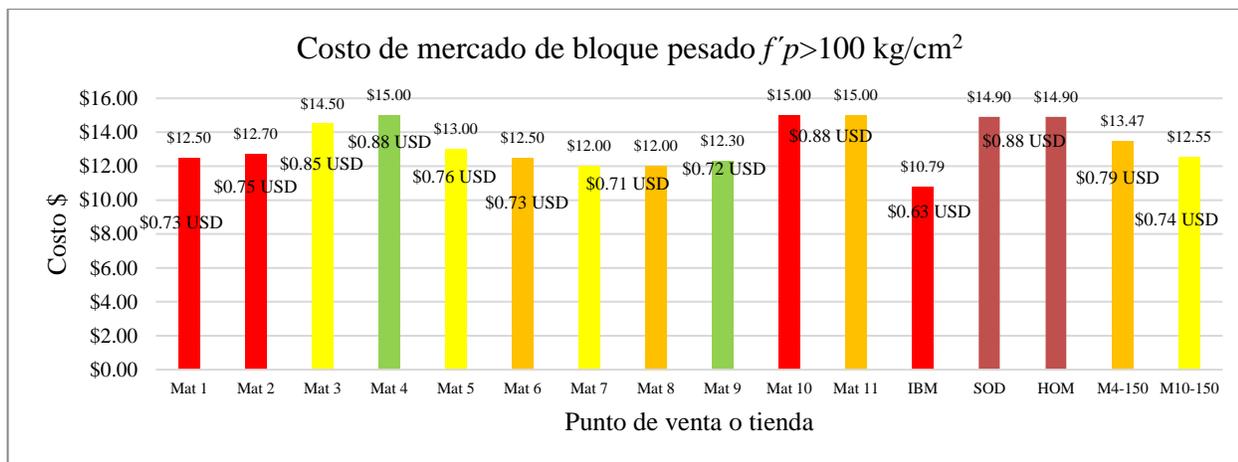


Figura 108. Comparación económica del bloque pesado elaborado con RDC y su factibilidad en el mercado (Fuente propia).

CAPÍTULO 6 Conclusión

Primera etapa.

Las tres primeras mezclas trabajadas y elaboradas con 100% RDC¹⁸⁴ sin aditivos, no se obtuvieron las resistencias esperadas en el caso de la mezcla M1-100 se obtuvo una resistencia 28.12% más baja que la resistencia promedio a compresión de la pieza ($f\bar{p}$) de 71.876 kg/cm² y una resistencia a compresión de la pieza ($f'p$) de 41.072 kg/cm², en el caso de la mezcla M2-150 un 37.14% más baja que la $f\bar{p} = 94.288$ kg/cm² y una $f'p = 53.878$ kg/cm², para la mezcla M3-210 un 38.61% por debajo de la $f\bar{p} = 128.920$ kg/cm² y una $f'p = 73.668$ kg/cm², en cuanto a la absorción inicial y final se obtuvieron resultados satisfactorios en las tres mezclas, sin embargo se tomaron como base para la elaboración de mezclas con agregado de banco y aditivo fluidificante que ayude a mejorar la trabajabilidad de la mezcla y reducir la cantidad de agua para la segunda etapa.

Segunda etapa.

En la segunda etapa de pruebas se trabajó con las mezclas M2-150 y M3-210 como base para elaborar nuevas mezclas con diferentes porcentajes de MB, RDC y aditivo fluidificante reductor de agua con la finalidad de aumentar la resistencia a compresión de la pieza, el resultado de las mezclas en cuanto a la resistencia fue muy favorable ya que se obtuvieron las resistencias esperadas a diferencia de las mezclas de la primera etapa que tuvieron resistencias por debajo de lo que marca la NMX-036-ONNCCE¹⁸⁵ y también se obtuvieron valores de absorción inicial y final por debajo de lo que marca la NMX-037-ONNCCE¹⁸⁶, cumpliendo con los objetivos generales en los cuales se planteó el uso de RDC para la fabricación de bloques que cumplieran con los requerimientos de una pieza de uso estructural teniendo una comparativa con las piezas usadas de manera convencional, demostrando su factibilidad técnica y económica para elaborar proyectos que involucren bloques para construir estructuras de mampostería, con base en las pruebas realizadas a todas las mezclas podemos concluir en que sí se pueden aprovechar los RDC, cabe señalar que en cuanto a comportamiento mecánico de los especímenes de la mezcla

¹⁸⁴ Residuo de Demolición y Construcción.

¹⁸⁵ NMX-C-036-ONNCCE-. (2013). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – MAMPOSTERÍA – RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES Y ADOQUINES – MÉTODO DE ENSAYO. ONNCCE, S. C., MMXIII.

¹⁸⁶ NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII.

M5-150 30% R.D.C - 70% M.B y fluidificante, que para cumplir con la norma requiere una resistencia promedio a compresión $f_p > 150 \text{ kg/cm}^2$ y se obtuvo una resistencia $f_p = 225.53 \text{ kg/cm}^2 > 150 \text{ kg/cm}^2$, la norma requiere una Resistencia a compresión $f_p > 100 \text{ kg/cm}^2$ y se obtuvieron $f_p = 129.49 \text{ kg/cm}^2 > 100 \text{ kg/cm}^2$ a un costo de \$13.97 pudiendo reducir el contenido de cemento de la mezcla en un 28.87 % reduciendo su costo de producción \$2.2 teniendo un costo de \$11.77 fabricando bloques más económicos y que se mantengan en parámetros de resistencia requerida $f_p = 175 \text{ kg/cm}^2$ fundamental para obtener una $f_p = 100 \text{ kg/cm}^2$ es importante mencionar que la óptima compactación, control adecuado de los materiales y el uso de aditivos fluidificantes y acelerantes nos puede ayudar a reducir todavía más el costo de producción y mantener una buena calidad de la mezcla, todos los especímenes de las mezclas trabajadas en la segunda etapa obtuvieron valores por debajo de 7.5% de la prueba de absorción inicial y debajo del 12% de absorción final que establece la norma, NMX-C-037-ONNCCE-2013.

En las pruebas realizadas a las mezclas de mortero se obtuvieron valores de f_p de 109.84 kg/cm^2 para la mezcla de 100 % RDC, 84.26 kg/cm^2 para la de 50% RDC y 50% MB, así como 97.12 kg/cm^2 para la mezcla de 30% RDC y 70% MB valores por debajo de 125 kg/cm^2 ; por otra parte son buenas resistencias que se pueden mejorar agregando aditivos que nos ayuden a reducir la cantidad de agua de la mezcla y a que el mortero tenga una retención de agua mayor al 75% ya que se obtuvieron valores por debajo de este en las tres mezclas; otro factor importante es la cantidad de finos la mezcla y si hay forma de mantener una curva granulométrica balanceada entre contenido de finos y gruesos aumenta la efectividad del cemento en la mezcla.

Se utilizaron bloques fabricados con la mezcla 4 para fabricar las pilas, en los resultados de las pruebas a compresión en pilas se obtuvieron resistencias de 119.28 kg/cm^2 , 109.25 kg/cm^2 y 98.95 kg/cm^2 obteniendo una resistencia promedio a compresión de la pila de 109.16 y obteniendo una resistencia a compresión de la mampostería de 87.33 kg/cm^2 , también se fabricaron muretes obteniendo resultados de 17.95 kg/cm^2 , 16.98 kg/cm^2 y 17.51 kg/cm^2 obteniendo una compresión diagonal de 11.65 kg/cm^2 .

Referencias

SEMARNAT. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México. 2013.

https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf

del Medio Ambiente, S. (2016). Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/pgirs.pdf>

del Medio Ambiente, S. (2021-2025). PROGRAMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS PARA LA CIUDAD DE MÉXICO.

https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGEIRA/PGIR/PGIR%202021-2025_N_ago21.pdf

del Medio Ambiente, S. (2015). GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL

https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/14d2189de8781a36c40237985d15193b.pdf

Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (2016-2020). En PGIRS (pág. 55). SEMARNAT.

<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/pgirs.pdf>

García, MR (2019). PROYECTO DE NORMA AMBIENTAL PARA LA CIUDAD DE MÉXICO PROY-NADF-007-RNAT-2019. En SEMARNAT (pág.35). SEMARNAT.

http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sitios/conadf/documentos/proyectos-normas/NACDMX_007_RNAT_2019.pdf

Plan de Manejo de residuos de la construcción y la demolición. (2017). En CMIC (pág. 99). Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.

<https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM%20RCD%20Completo.pdf>

SEDEMA. (2011). SITIOS AUTORIZADOS PARA LA DISPOSICIÓN DE MATERIALES DE EXCAVACIÓN Y DE CONSTRUCCIÓN.

<https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/descargas/Sitios%20Autorizados%20Disposici%C3%B3n%20de%20Materiales.pdf>

USGBC. (2008). LEED 2009 para Nueva Construcción y Gran Remodelación. U.S GREEN BUILDING COUNCIL, INC - CONSEJO DE CONSTRUCCION VERDE ESPAÑA.

<http://www.spaingbc.org/files/LEED%202009%20NC%20Nov%202008%20ESP.pdf>

De economía, S. (2013). NMX-AA-164-SCFI-2013 EDIFICACIÓN SUSTENTABLE - CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS AMBIENTALES MÍNIMOS.

<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3156.pdf>

Mtro. Alejandro Cervantes Abarca-Arq. Alberto Ramírez Alférez. (2016). LA EDIFICACIÓN SUSTENTABLE (NORMATIVIDAD EN MÉXICO). Compilación de artículos de investigación 2016.

https://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/congreso_2016/05.pdf

SMIE. A.C (2020). Edificaciones de mampostería. LIMUSA.

EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA – Limusa Digital

MIE. (2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

<https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-ciudad-mexico-2017.pdf>

MMX-C-404-ONNCCE-. (2012). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA-BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES PARA USO ESTRUCTURAL-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C.,MMXII.

NMX-C-036-ONNCCE-. (2013). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – MAMPOSTERÍA – RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES Y ADOQUINES – MÉTODO DE ENSAYO. ONNCCE, S. C., MMXIII.

NMX-C-037-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C., MMXIII.

NMX-C-038-ONNCCE-. (2013). Industria de la construcción - Mampostería – Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo. ONNCCE, S.C.MMXIII.

NMX-C-441-ONNCCE-. (2013). Industria de la Construcción – Mampostería- Bloques, Tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural- especificaciones y métodos de ensayo. ONNCCE, S.C.

NMX-C-061-ONNCCE-. (2015). Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cementantes Hidráulicos. ONNCCE, S.C., MM.

NMX-C-085-ONNCCE-. (2015). Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos – determinación estándar para el mezclado de pastas y morteros de cementantes hidráulicos. ONNCCE, S.C., MM.

NMX-C-144-ONNCCE-. (2015). Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Requisitos para el Aparato usado en la Determinación de la Fluidéz de Morteros. ONNCCE, S.C., MM.

NMX-C-148-ONNCCE-. (2010). Industria de la Construcción - Cementos y Concretos Hidráulicos - Gabinetes, Cuartos Húmedos y Tanques de Almacenamiento - Condiciones de Diseño y Operación. ONNCCE, S.C., MM.

NMX-C-ONNCCE-464-. (2010). industria de la construcción – mampostería - determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación resistencia y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto-métodos de ensayo. ONNCCE, S.C., XI.

MX-C-486-ONNCCE-2014. (2014). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-MAMPOSTERIA-MORTERO PARA USO ESTRUCTURAL-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE ENSAYO. ONNCCE, S.C., MMXIV.

ASTM INTERNATIONAL. (2014). ASTM C 136 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

ASTM INTERNATIONAL. (2013). ASTM E11 Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves.

ASTM INTERNATIONAL. (1992). ASTM Standard Practice for Sampling Aggregates D 75.

ASTM INTERNATIONAL. (1995). ASTM C 117 Método de ensayo normalizado para determinar la cantidad de material más fino que el tamiz de 75 m (No 200) de los áridos minerales por el método de lavado.

IMCYC. (2006). ELABORACION DE CILINDROS DE CONCRETO EN EL CAMPO. EL CONCRETO EN OBRA, PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES., 4.

<https://www.imcyc.com/ct2006/marzo06/PROBLEMAS.pdf>

Bolaños, EA (2015). Reciclaje de residuos de la construcción para la fabricación de ladrillos sustentables. Universidad Nacional Autónoma de México.

de Jesús Aguilar Penagos, A. (2017). FABRICACIÓN DE BLOQUES ECOLÓGICOS A BASE DE MATERIAL PRODUCTO DE LA CONSTRUCCIÓN. Universidad Nacional Autónoma de México.

López, J.A.L (2018). ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MINERALÓGICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE RECOBLOQUES. Universidad Nacional Autónoma de México.

Olguín, DFM (2016). Proceso de Producción de Agregados Pétreos y su Control de Calidad. Universidad Nacional Autónoma de México.

MÁRQUEZ MORENO JOSÉ ROBERTO - PINTOR HIDALGO FRANCISCO JAVIER. (2012). MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO OPTIMIZANDO LA RELACIÓN AGUA – CEMENTO, GRAVA –ARENA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PARA PRODUCIR CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO. Universidad Nacional Autónoma de Mexico.

LEY FEDERAL DEL TRABAJO, (1970-2015) (Congreso de Los Estados Unidos Mexicanos).
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/156203/1044 Ley Federal del Trabajo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/156203/1044_Ley_Federal_del_Trabajo.pdf)

LEY DEL SEGURO SOCIAL, (1995-2023) (Congreso de Los Estados Unidos Mexicanos).
<https://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/pdf/leyes/LSS.pdf>

INFONAVIT, (2023) (El Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores).
infonavit.org.mx. maqnea.com. (2023). maqnea. <https://maqnea.com/>